



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikakolledž

Karl-Marten Mõttus

**IRU SAUNA HOONEAUTOMAATIKA ELEKTRISKEEMIDE
ARENDUS**

DEVELOPMENT OF BUILDING AUTOMATION ELECTRICAS
SCHEMATICS FOR IRU SAUNA

Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö
Tehnotroonika eriala

Juhendaja: lektor Toivo Leola, *MSc*

Tartu 2017

Eesti Maaülikool		Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		lühikokkuvõte	
Autor: Karl-Marten Mõttus		Õppekava: Tehnotroonika	
Pealkiri: Iru Sauna hooneautomaatika elektriskeemide arendus			
Lehekülgi: 105	Jooniseid: 20	Tabeleid: 0	Lisasid: 7
Osakond: Tehnika Kolledž			
Uurimisvaldkond (ja mag. töö puhul valdkonna kood): elektroonika/mehhaanika			
Juhendaja(d): lektor Toivo Leola, <i>MSc</i>			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2017			
<p>Käesoleva töö eesmärk on läbi hooneautomaatika loomise parendada Iru Sauna energiaefektiivsust ja lihtsustada hallatavust. Töö käigus arendatakse välja erilahendus hooneautomaatikale, disainides kontrollüksusi ja nende trükkplaate. Arendatav projekt on tellimustöö.</p> <p>Töös kasutatakse andmeid, mida koguti objektiga tutvumisel, mille alusel loodi automaatikale üldstruktuur. Üldstruktuuri alusel arendati hooneautomaatika erilahenduse elektriskeemid. Arendamisel kasutati elektroonika komponente ja lähenemisviisi, mis suuresti ei vasta hooneautomaatika standarditele.</p> <p>Teostatud projekti tulemus on hooneautomaatika erilahenduse elektriskeemid. Projekt omab mitmeid edasiarendamis võimalusi, teostades loodud skeemide alusel trükkplaatide tootist, automaatika programmeerimist ja seadmete korpuste mehhaanilist disaini.</p>			
Märksõnad: Iru Saun, hooneautomaatika, arendus, elektriskeem.			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Applied Higher Education's Thesis	
Author: Karl-Marten Möttus		Speciality: Technotronics	
Title: Development of building automation electrical schematics for Iru Sauna			
Pages: 105	Figures: 20	Tables: 0	Appendixes: 7
Department: Tartu Technology College Field of research (and for Master's Thesis add research field code): electronics/mechanics Supervisors: lecturer Toivo Leola, <i>MSc</i> Place and date: Tartu 2017			
<p>The aim of this project is to improve Iru Saunas energy efficiency and simplify manageability through creating a building automation system. The project is developing a custom building automation system for Iru Sauna. The development was carried out by designing control units and circuit board schematic. This project is developed by the customer's order.</p> <p>The data, which was used to carry out this project, was gathered while perusing the object. A general automation structure was created based on the perusement, on which the automation system electrical schematics are made. The developed system uses electronic components and designing approaches, which are not common in standardized building automation systems.</p> <p>The outcome of this project is a custom building automation systems electrical schematics. This project can be used as a base for developing a circuit board layout design, mechanical design or a program for this project.</p>			
Keywords: Iru Sauna, building automation, development, electric schematics.			

SISUKORD

SISUKORD	5
TÄHISED JA LÜHENDID	8
SISSEJUHATUS	12
1. NÕUDED ARENDATAVALE AUTOMAATIKALE	13
1.1. Keskseade	13
1.2. Sauna pult	14
1.3. Elektrikilp	15
1.4. Järeldus – automaatika üldstruktuur	16
2. VÕIMALUSED LOODAVA HOONEAUTOMAATIKA TEOSTAMISEKS	17
2.1. KNX standardi eelised ja puudused	17
2.2. Erilahendus automaatika eelised ja puudused	18
2.3. Järeldus – Kasutatav metoodika	19
3. ERILAHENDUSE ARENDUS	20
3.1. Keskseadme arendus	20
3.1.1. Keskseadme üldine skeem	21
3.1.1.1. Kesk-arvuti	21
3.1.1.2. Ruuter	22
3.1.1.3. Mikrolüliti	23
3.1.2. Keskseadmega ühendatud turva- ja raadiosideseadmed	23
3.1.2.1. Tuleohutus	24
3.1.2.2. Liikumisandurid	26
3.1.2.3. Valvekaamerad	27
3.1.2.4. Raadioside	28
3.1.1.5. Häiresireen	28
3.1.3. Keskseadme trükkplaadi skeem	28
3.1.3.1. Andurite ja lülitite signaali pingi piiramine	29
3.1.3.2. Keskseadme RS-485 standardi andmesideseade	31
3.1.3.3. Häiresireeni rele	33
3.1.3.4. Keskseadme toide	34
3.1.4. Reservtoiteallikas	37
3.2. Sauna puldi arendus	40
3.2.1. Esipaneel	40

3.2.1.1. Nupplülitid	40
3.2.2. Tagapaneel	41
3.2.2.1. Sauna puldi juhtseade	41
3.2.2.2. Sammvalija	43
3.2.2.3. 7-segmendiline LED numbritabloo	45
3.2.2.4. Sauna puldi RS-485 standardi andmesideseade	47
3.2.2.5. Lülitussignaali pingete piiramine	48
3.2.2.6. Temperatuuriandurid	49
3.2.2.7. Sauna puldi toide	52
3.3. Elektrikilbi arendus	53
3.3.1. Elektrikilp	53
3.3.1.1. Jõukaablite jaotus	54
3.3.1.2. Sauna kerise jõulülitus	55
3.3.1.3. Põrandakütte jõulülitused	58
3.3.1.4. Boileri ja soojuspumba tagasiühilduvus jõulülitused	59
3.3.1.5. Leiliruumi valgustuse jõulülitus	60
3.3.2. Kilbi kontroll	62
3.3.2.1. Kilbi kontrolleri juhtseade	62
3.3.2.2. Kilbi kontrolleri RS-485 standardi andmesideseade	62
3.3.2.3. Rikkesignaalide tuvastus	63
3.3.2.4. Tagasiühilduvus-nupplüliti	63
3.3.2.5. Kerise ja põrandakütete PWM signaaliga juhtimine	63
3.3.2.6. Boileri ja soojuspumba jõulülitused	64
3.3.3. Kilbi kontroll – toiteplokk	64
3.3.3.1. Kerise kütteelementide kontroll	64
3.3.3.2. Kilbi kontrolleri toide	66
3.3.3.3. Akulaadija	67
3.3.3.4. Aku laadimispinge reguleerimine	72
3.3.3.5. Alaldi	73
KOKKUVÕTE	74
SUMMARY	75
KASUTATUD KIRJANDUS	76
LIHTLITSENTS	80
LISAD	81
LISA 1	82
LISA 2	87
LISA 3	89

LISA 4	92
LISA 5	97
LISA 6	101
LISA 7	104

TÄHISED JA LÜHENDID

ADC	– analoogsisendi tuvastatav muutuste arv;
C _{AKU}	– tarvilik aku mahtuvus;
C _{EN}	– sammvalija RC ahela mahtuvus;
C _H	– aku mahtuvus keskseadme töö tagamiseks häireolekus 30-ks minutiks;
C _{RTD}	– termoanduri signaali tõususirge koefitsient;
C _V	– aku mahtuvus keskseadme valverežiimis töö tagamiseks 72-ks tunniks;
FIE	– füüsilisest isikust ettevõtja;
GPIO	– üldotstarbeline sisend-väljund viik (<i>General Purpose Input-Output</i>);
I _{12B}	– keskseadme poolt kasutatav vool 12V ahelas;
I _{12BV}	– keskseadme poolt kasutatav vool 12V ahelas valverežiimis;
I _{1FK}	– sauna kerise voolutarve ühe faasi kohta;
I _{24A5} , I _{24B5} , I _{24KK}	– 5V toiteelemendi voolutarve 24V ahelas;
I _{24B}	– keskseadme maksimaalne voolutarve 24V ahelas;
I _{24B12}	– 12V toiteelemendi voolutarve häiresolekul 24V ahelas;
I _{24B12V}	– 12V toiteelemendi voolutarve 24V ahelas valverežiimil;
I _{24BV}	– keskseadme summaarne voolutarve 24V ahelas valverežiimil;
I _{24MAX}	– teadaolev maksimaalne trafo väljundvool 24VAC toite puhul;
I _{3.3}	– 3.3V toitepinge summaarne voolutarve, mA;
I _{5V1}	– RS-485 üksuse voolutarve;
I _{7SEG}	– ühe numbri tabloo üksuse maksimaalne voolutarve;
I _{AT}	– ATmega164-e maksimaalne voolutarve;

ID	– isikutuvastus dokument (<i>Identification Document</i>);
IEN	– sammvalija voolutarve viigu kohta;
IHall	– Hall'i anduri voolutarve;
IIC1	– MAX6818 loogika vooltarve;
IIC1R	– MAX6818 ühe sisendviigu voolutarve maandatult;
IIC2	– RS-485 seadme loogika voolutarve;
IK1	– relee mähise voolutarve;
IL	– valgustuse pool tarvitav vool, ühtlasi ka vool, mida saab kasutada 24V toite tarvis;
ILAH	– liikumisanduri voolutarve häireolukorras;
ILAV	– liikumisanduri voolutarve valverežiimis;
ILED	– LED-elementi voolutarve normaal toitepinge juures;
IMAX3	– MAX6817 seadme voolutarve;
INR	– nihkeregistri loogika maksimaalne voolutarve;
IR	– infrapuna (<i>Infrared</i>);
IRas	– Raspberry maksimaalne voolutarve;
IRTD	– summaarne temperatuuriandurite voolutarve;
IS5A, IS5B, IKK	– 5V ahela tarvitav vool;
IS7SEG	– numbritabloo skeemide summaarne voolutarve;
ISAA12	– suitsuanduri häireseisundi voolutarve 12V toitepinget kasutades;
ISAO12	– suitsuanduri valverežiimi voolutarve 12V toitepinget kasutades;
ISK	– summaarne kaametare voolutarve 24V ahelas;
ISLAH	– summaarne liikumisandurite voolutarve häireolukorras;
ISLAV	– summaarne liikumisandurite voolutarve häireolukorras;
ISP	– võrguühenduse võimaldaja (<i>Internet Service Provider</i>);
ISSAA12	– summaarne suitsuandurite voolutarve häireolukorras;
ISSAO12	– summaarne suitsuandurite voolutarve valverežiimis;

Mbps	– megabitti sekundis (<i>Megabits per second</i>);
MOSFET	– isoleeritud paisuga väljatransistor (<i>Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect-Transistor</i>);
P _{1.5} , P _{2.5}	– kerise kütteelemendi võimsus;
P _{5GHz}	– 5GHz WiFi seadme maksimaalne voolutarve;
PCINT	– viigu muutusega rakendatav katkestus (<i>Pin Change Interrupt</i>);
P _K	– ühe kaamera tarvitav võimsus täiskoormusel;
P _{K1}	– relee mähise võimsus;
P _L	– kasutatavate hõõglampide võimsus;
PoE	– Toide üle ethernet-i (<i>Power over Ethernet</i>);
P _R	– ruuteri maksimaalne võimsus;
PT	– parandustegur;
PWM	– pulsilaiusmodulatsioon (<i>Pulse-Width Modulation</i>);
R _{0deg} , R _{50deg} , R _{100deg}	– termotakisti takistus °C juures;
R ₁ , R ₄ , R ₅ , R ₂₃ , R ₂₅ , R ₂₈	– skeemi takistid;
R _{ADC}	– analoogsisendi maandatava takisti väärtus;
R _{IC1}	– MAX6818 viigu pingestatud sisemise takisti minimaalne väärtus;
R _{LED}	– LED-elementi läbivat pinget piirava takisti väärtus;
SPI	– seadme jadaühendusliides (<i>Serial Peripheral Interface</i>);
Z _{1.5} , Z _{2.5}	– kerise kütteelementide arv;
Z _{7SEG}	– numbrutabloo skeemide arv;
Z _{EN}	– sammvalija skeemi väljundviikude arv;
Z _{Hall}	– Hall'i andurite arv;
Z _{HÕ}	– hõõglampide arv;
Z _K	– kaamerate koguarv;
Z _{K1}	– releede arv;
Z _L	– liikumisandurite koguarv;
Z _{LED}	– kasutatavate LED-elementide arv;
Z _{M_2} , Z _{M_8} , Z _{M_11}	– MAX6818 sisendviikude arv;
Z _{MAX12}	– keskseadme MAX6818-te arv;
Z _{RTD}	– temperatuuriandurite arv;

Z_s	– suitsuandurite koguarv;
$t_{0.5h}, t_{72h}$	– keskseadme tööaeg reservtoiteallikast;
$U_{0.7}, U_{2.5}, U_3, U_{3.3}, U_4, U_5, U_{12}, U_{24}$	– alalispinged;
$U_{12VAC}, U_{24VAC}, U_{230}$	– vahelduvpinged;
U_{ADC}	– analoogsisendi sisendpinge 100°C korral;
U_{SA12}, U_{SA24}	– suitsuanduri toitepinge;
USART	– universaalne sünkroon/asünkroon jadaühendus- protokoll (<i>Universal Synchronous / Asynchronous Receiver/Transmitter</i>);
$\Delta t_{50deg}, \Delta t_{100deg}$	– temperatuuri muut;
ΔU	– pinge muut;
$\eta_{12B}, \eta_{5A}, \eta_{5B}, \eta_{KK}$	– pingeregulaatorite kasutegurid;
τ_{EN}	– RC ahela ajakonstant;

SISSEJUHATUS

Hooneautomaatika on tänapäeval laialt levinud lahendus võimaldades hoonet hallata, kui tervikliku süsteemi. Hooneautomaatika puhul on hallatav kogu hoone ühest juhtkontrollerist, võimaldades juhtida kõiki elektriseadmeid samaaegselt. Ühtne automaatikasüsteem võimaldab muuta hoone lihtsamini hallatavaks, vähendades inimese poolset sekku-mist täiturite töösse suurel osal. Tänu aktiivse inimfaktori puudumisele täiturite töös on võimalik hoone muuta kasutajasõbralikumaks, paindlikumaks ja kuluefektiivsemaks.

Antud rakenduskõrghariduse lõputöö raames arendatakse välja hoone automatiseerimise eri-lahendus elektriskeemid renditavale saunahoonele, mis on ehitatud 1969 aastal kui endise Tallinna Näidislinnuvabriku töötajate puhkekeskus. Tänapäeval on puhkekeskus tuntud kui Iru Saun. Automaatika välja töötamisel on silmas peetud hoone praeguse valdaja ja lahenduse tellija Aivar Mõttus FIE visiooni, vajadusi ja nõudeid loodavale lahendusele. Läbi teadaolevate spetsiifilisele vajadustele ja nõuetele töötatakse välja hooneautomaatika süsteem.

Käesoleva projekti eesmärk on välja töötada hooneautomaatikat teostatav elektriline lahendus. Antud rakenduskõrghariduse lõputöö raames teostatakse ainult elektriskeemide väljatöötamise osa. Tulemusena valmivad elektriskeemid ja dokumentatsiooni komplekt, mida kasutades on hiljem võimalik luua reaalselt funktsioneeriv hooneautomaatika.

Kirjutatud tööle aitas kaasa Tartu Ülikooli õppejõud Artur Abels, kui töö elektroonika alane mentor ja juhendaja.

1. NÕUDED ARENDATAVALE AUTOMAATIKALE

Loodava saunahoone automaatika arendamisel lähtutakse tellija vajadustest konkreetsele hoonele. Kliendi visiooni mõistmiseks tutvuti objektiga kohapeal, koguti andmeid objekti kohta ning määrati kindlaks kliendi ootused arendatavale hooneautomaatikale. Kogutud andmete hulka kuulub hoone projekt ([Lisa 1.](#)), mis on täiustatud eskiisi vormis.

Kliendi nõuete kohaselt peab sauna automaatika koosnema kolmest põhilisest alamosast – keskseadmest, sauna puldist ja elektrikilbist. Keskseadme ülesanne on hallata tervet hoone automaatikat ja võimaldada süsteemi haldamist juhtmevabalt. Sauna puldi põhiülesanne on võimaldada manuaalselt reguleerida leiliruumi ja põrandakütete temperatuure. Elektrikilpi on koondatud kõik jõulülitused. Antud kolme struktuurüksuste soovitud asukohad on märgitud hoone projektile vastavalt tähistustega KS, SP ja EK.

1.1. Keskseade

Keskseade on tervet loodavat automaatikat haldav juhtpult, mis võimaldab lokaalselt kui ka kaughalduse abil teostada automaatika üle kontrolli. Keskseadme elektri skeemide loomisel lähtutakse järgnevatest tellija nõuetest keskseadme võimekusele:

- Kogu hooneautomaatika peab olema täielikult hallatav ühest kesk seadmest;
- Keskseade peab olema hallatav juhtmevabalt vähemalt 300m kauguselt;
- Keskseadme abil peab olema võimalik manuaalselt lülitada hoone elektrilist pealüliti ning hallata turva- ja signalisatsioonisüsteemi;
- Hoone elektriline pealülitit peab olema rakendatav kasutades ID-kaarti. Kliendi soovi kohaselt on ID-kaart vajalik ainult ruumide rentija vastutustunde tekitamiseks, mitte isikutuvastuse eesmärgil;

- Keskseade peab juhtima leiliruumi kütet, infrapuna põrandakütet, elektrilist põrandakütet, soojuspumpa ning soojavee boilerit;
- Keskseadme poolt hallatav turvasüsteem peab koosnema liikumis- ja suitsuanduritest, peaukse liikumisandurist, valvekaamerate ja häiresireenist;
- Turvasüsteemi toimimine peab olema tagatud 72-ks tunniks voolukatkestuse korral;
- Keskseade peab võimaldama täielikku hallatavust vaid teenindavale personalile;
- Keskseadmega opereerimine peab olema lihtne ja üheselt mõistetav.

1.2. Sauna pult

Sauna puldi põhiline ülesanne on võimaldada manuaalselt reguleerida leiliruumi temperatuuri ning kütterežiimi, reguleerida põrandakütete temperatuure ja kütterežiime ning teostada leiliruumi valgustuse lülitusi. Sauna puldi väljatöötamisel lähtuti järgnevatest tellijapoolsetest nõuetest:

- Kütteseadmeid ja leiliruumi valgustust on võimalik juhtida sauna puldist käsitsi, kui ka keskseadme kaudu. Olenemata kummast seadmest käsk sisestati, kehtib alati viimane juhtkäsk;
- Sauna puldist sisestatud juhtimiskäsud edastatakse keskseadmesse;
- Sauna pult peab asuma tellisseina sees olevas avas, mille mõõtmed on 180mm * 90mm * 90mm;
- Sauna pult peab olema ligipääsetav mõlemalt seina poolelt ja omama kahte juhtpaneeli – üks teeninduspersonali jaoks ja teine kõikide hoone külastajate jaoks;
- Leiliruumiga seotud lülitus- ja reguleerimisvõimalused peavad olema kättesaadavad kõikidele hoone kasutajatele;
- Põrandakütetega seotud lülitus- ja reguleerimisvõimalused peavad olema kättesaadavad vaid teenindavale personalile;
- Leiliruumi küte peab olema sujuvalt reguleeritav 50°C ... 100°C vahemikus;
- Leiliruumi küte peab olema sisse ja välja lülitatav nupust;

- Põrandakütete temperatuurid peavad olema sujuvalt reguleeritavad 0°C ... 50°C vahemikus;
- Sauna puldi mõlemad paneelid peavad olema mehhaaniliselt vastupidavad, niiskuskindlad ja lihtsasti mõistetavad.

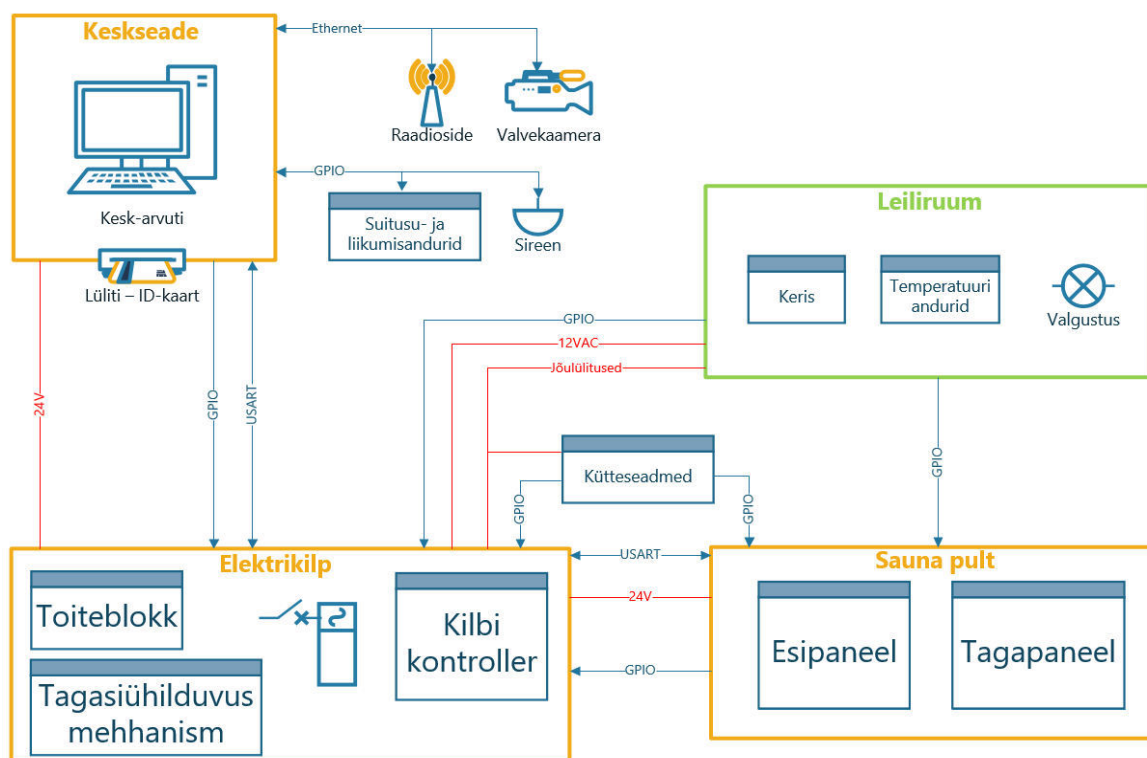
1.3. Elektrikilp

Elektrikilbi ülesanne on teostada jõulülitusi, juhtides otseselt kütteseadmeid ja leiliruumi valgustust. Jõulülituste teostamiseks luuakse kilbi kontrolleri, mis juhib elektrikilbi lülitusi vastavalt keskseadme ja sauna puldi lülituskäskudele. Jõulülituste teostamise kõrval peab elektrikilp olema võimeline täitma järkevaid tellija poolt esitatud nõudeid:

- Hoone elektriline pealüliti ei tohi lülitada loodavat automaatikat, ega ka selle poolt juhitavaid seadmeid;
- Kõik küttemehhanismid peavad olema vähese vaevaga tagasiühilduvad eelneva automaatikaga;
- Elektrikilp peab kontrollima teostavate lülituste rakenduvust, täitma rakendatavad juhtkäsud ning rakendumist takistavatest asjaoludest teavitama keskseadet probleemist;
- Kontrollima sauna kerise kütteelementide töökorrasust ja teavitama muutustest keskseadet;

1.4. Järeldus – automaatika üldstruktuur

Lähtuvalt kogutud andmetest loodi väljatöötatavale automaatikale üldstruktuur (joonis 1.1.). Üldstruktuur väljendab struktuurüksuste ja juhitavate seadmete vahelist ühenduvust. Loodud üldstruktuur võetakse aluseks arendatava automaatika loomisel.



Joonis 1.1. Automaatika üldstruktuur

2. VÕIMALUSED LOODAVA HOONEAUTOMAAATIKA TEOSTAMISEKS

Olles välja selgitanud loodava automaatika iseloomu ja vajalikud omadused, leiti parim lähenemisviis projekti teostamiseks. Lähenemisviisi valikul analüüsiti laialdaselt kasutusel olevat KNX hooneautomaatika standardit, võrreldes seda erilahenduse võimalustega.

2.1. KNX standardi eelised ja puudused

KNX standard on hooneautomaatika suunitlusega standard, mis arendati välja kolmest eelnevalt kasutusel olevast standardist: EHS, BaitBUS ja EIB. KNX on rahvusvaheliselt tunnustatud standard, millele toodavad komponente paljud ettevõtted. KNX seadmed koosnevad kindla ülesandega moodulitest, mis ühenduvad üksteisega standardiseeritud protokollide kasutades.[1]

KNX-i eelised antud projekti raames:

- Standardi kohaselt loodud komponentidel on garanteeritud kvaliteet;
- Seadmetel on olemas tootjapoolne garantii;
- KNX võimaldab lahenduse kiiret ja lihtsat komplekteerimist tänu eraldiseisvate moodulite laiale valikule;
- Sisseostetava terviklahenduse hind on fikseeritud;
- Võimalus süsteemi laiendada lisamoodulite abil;
- Terviklahendused luuakse pädevate spetsialistide poolt;
- Tootjapoolne ja varustajapoolne klienditugi.

KNX-i puudused antud projekti raames:

- Eraldiseisvate moodulite gabariidid on suhteliselt suured;
- Terviklahenduse ning moodulite hinnad on kõrged;
- Terviklahendusel võib jääda puudu vajatavast süsteemi paindlikkusest;
- Paigaldamisel, kalibreerimisel ja hooldamisel vajalik tootja- või varustajapoolne sekkumine.

2.2. Erilahendus automaatika eelised ja puudused

Automaatika erilahenduse puhul ei ole kohustust üldtunnustatud standardit kasutada. Erilahendus võib koosneda erinevatel tuntud standarditel baseeruvatest osadel või spetsiifiliste vajaduste kohaselt loodud andmeedastusviisidel. Selline lähenemisviis võimaldab arendatavat automaatikat optimeerida vastavalt vajadustele, muutes süsteemi lihtsasti ühilduvaks kasutatavate komponentidega. Erilahenduse arendamisel lähenetakse probleemi lahendamisele baaskomponentide tasemel, komplekteerides mooduli, mis võib teostada paralleelselt väga erinevaid ülesandeid.

Erilahenduse eelised antud projekti raames:

- Erilahendust on võimalik projekteerida, optimeerides skeemi vastavalt spetsiifilistele vajadustele;
- Erilahendus võimaldab luua gabariitide poolest kompaktsema terviklahenduse;
- Erilahenduse arendamisel omandatakse uusi teadmisi ja kogemusi;
- Erilahenduse puhul on vigade tuvastamine ja nende vältimine lihtsam läbi täieliku süsteemi mõistmise;
- Suhteliselt odav lõppmaksumus tänu odavatele baaskomponentidele;
- Suur paindlikus arendamisel.

Erilahenduse puudused antud projekti raames:

- Erilahenduse arendamine võib osutuda äärmiselt aeganõudvaks, mis võib tõsta lahenduse kogumaksumust märgatavalt;
- Vigase süsteemi puhul uue lahenduse väljatöötamine, testimine ja tootmine võib osutuda kulukaks;
- Lahenduse tootmine ja testimine vajab spetsiifilisi tööriistu ja oskusi.

2.3. Järeldus – Kasutatav metoodika

Käesoleva projekti teostamisel otsustati kasutada erilahenduse metoodikat, võimaldades suurt paindlikust disaini arendamisel. Samas otsustati kasutada hoone- ja tööstusautomaatika tuntud standardeid, mille kasutamine avardab komponentide valikut.

3. ERILAHENDUSE ARENDUS

Vastavalt loodud automaatika üldstruktuurile, arendatakse iga kirjeldatud struktuurüksus ning muudetakse ühilduvaks seadmetega, mida nad juhivad. Loodavate struktuurüksuste väljatöötamisel kasutatakse järgnevaid tööstusautomaatikas kasutusel olevaid standardeid:

- 24V toitepinget põhilise pingena;
- RS-485 jadaühendusstandard struktuurüksuste vahelisel andmeedastusel;

24V toitepinge võimaldab skeemides kasutada tööstusautomaatika komponente nagu 24V mähisega kontaktorid. Lisaks võimaldab 24V väiksemat voolutarvet kui laialt levinud 12V, lihtsustades vähesel määral süsteemi toiteskeeme.

RS-485 jadaühendusstandard võimaldab vähese signaalimüraga edastada andmeid, kasutades suuri andmevahetuskiiruseid suhteliselt pikkade vahemaade taha. RS-485 on võimeline edastama kuni 10 Mbps andmeedastuskiirusega kuni 1219 m kaugusele, kasutades diferentseeritud signaali [2]. Lisaks võimaldab kirjeldatud tööstusstandardi rakendamine vajadusel kasutada loodavas süsteemis standardeid tööstusautomaatika seadmeid.

3.1. Keskseadme arendus

Keskseadme arendamisel lähtuti nõuetest, mis toodud välja peatükis [1.1. Keskseade](#). Arendustegevusel töötati välja keskseadme elektriskeemid, mis koosnevad kahest põhilisest osast: keskseadme üldine skeem ja keskseadme trükkplaadi skeem ([Lisa 3](#)). Keskseadme üldine skeem koosneb komponentidest, mis on eelnevalt komplekteeritud, täitmaks kindlat ülesannet. Keskseadme trükkplaadi skeem sisaldab andurite signaale

töötlevat skeemi ja andmeedastuslahendust, ühildades keskseadme teiste automaatika-süsteemi osadega.

Keskseadme struktuurüksus on paigutatud välismõjude ning kõrvaliste isikute eest kaitstud keskkonda, mida võimaldab elektri- või võtmekapp. Sellisel viisil on keskseade hallatav vaid isikutele, kes omavad kapi võtit.

3.1.1. Keskseadme üldine skeem

Keskseadme üldine skeem ([Lisa 3](#), lk 1) koosneb kesk-arvutist Raspberry Pi mudel B+, ruuterist RouterBoard hEX PoE Lite, mikrolülitist ja keskseadme trükkplaadi skeemist.

3.1.1.1. Kesk-arvuti

Keskseadet ja loodut automaatikat juhib Raspberry Pi mudel B+. Tegu on suhteliselt võimeka Linux-i baasil väikearvutiga. Antud lahenduses osutus Raspberry valituks suuremalt osalt tänu puutetundliku ekraani võimekusele ja laialdasele kommuunile. Teised soodsad faktorid on soodne hind, ethertnet-i võimekus ja paljude GPIO viikude võimekus.

Keskseadme lihtsaks lokaalseks haldamiseks kasutatakse 7- tollist puutetundlikku ekraani, mis on Raspberry Pi-ga koheselt ühilduv. Sellisel viisil on mugav sisestada nii kütteseadmete kui ka turvasüsteemi parameetreid. Ethernet-i võimekust kasutatakse automaatika kaughalduse teostamiseks, kasutades raadioside lahendust. Kuna lokaalses arvutivõrgus on lisaks Raspberry-le ja raadiosidele veel IP-kaamerad, on kõik võrgu seadmed ühendatud ruuterisse.

Raspberry Pi GPIO viike kasutatakse liikumis- ja suitsuandurite teabe vastuvõtmiseks ning häiresireeni sisselülitamiseks. Läbi GPIO viikude on andureid ja täitureid lihtne ühendada ja programmeerida. GPIO viikude andmeid töödeldakse enne vastuvõtmist ja peale

saatmist keskseadme trükkplaadi poolt, muutes signaalid ühilduvaks ühendatavate seadmega.

Erinevate juhtivate struktuurüksuste vahel on andmeside teostatud kasutades USART protokoll. USART võimekus on Raspberry Pi-sse sisse ehitatud ning kättesaadav GPIO viikudelt. Kuna antud projektis on tarvis USART ühendust teostada vähemalt 10m kaugusele keskseadmest, kasutatakse signaali häirekindlamaks muutmiseks RS-485 standardit.

3.1.1.2. Ruuter

Ruuterit kasutatakse lokaalse arvutivõrgu loomiseks, võimaldades kõik võrguseadmed koondada ühte kontrollseadmesse. Ruuter võimaldab samuti raadiosidelahendust kasutades ühendada loodud arvutivõrk teiste arvutivõrkudega juhtmevabalt. Ruuter, mida otsustati kasutada, RouterBoard hEX PoE Lite, valiti tänu mitmetele headele omadustele, mida arendamisel kasutatakse.

Ruuter omab PoE liidest, mille abil on võimalik temaga ühendatud seadmeid toita ethernet kaabli kaudu. Sellisel viisil muudetakse seadmete paigaldus lihtsaks tänu vaid ühele vajaminevale kaablile. PoE võimekust omavad ruuteri väljundid 2 ... 5, millede summaarne väljundvool ei tohi ületada 2A [3]. Samuti on andmelehel välja toodud, et maksimaalne lubatud voolutarve ühe väljundi kohta on 1A [3]. Neid andmeid teades valitakse sobivad ruuteriga ühendatud seadmed.

Tähtsaks asjaoluks osutus, lisaks PoE-le, suur toitepinge vahemik, võimaldades kasutada 24V toitepinget.

3.1.1.3. Mikrolüliti

ID-kaardiga rakendatavaks lülitiks valiti mikrolüliti SS-5GL2 (S1). Mikrolüliti lülitab sisse hoone osa, mis ei ole juhitud loodava automaatikaga. Edasiselt viidatakse kirjeldatud lülile kui pealülile.

ID-kaardiga teostatav lülitus toimub juhul, kui ID-kaart muudab mikrolüliti lüliti asendit. Mikrolüliti lülitusmehhanism tajub, kas ID-kaart on sisestatud, mõõtes kaardi paksust. Valitud toode osutus loodud lahendusse sobilikuks, kuna mikrolüliti lülitust rakendava mehhanism vajab rakendumiseks maksimaalset 0.8mm nihet algpositsioonist [4, lk 6], olles vähim, mida seda tüüpi tooted võimaldavad ning võimalikult lähedane ID-kaardi paksusele (0.76mm [5]). Selleks, et lülitus kindlasti toimuks, tuleb keskseadme mehhaanilises disainis lüliti lülitusmehhanism eelpingestada, seeläbi vähendades tarviliku lülitusmehhanismi nihet.

Lisaks kirjeldatud omadusele osutus lüliti valituks tänu rullikuga lülitusmehhanismile, seeläbi vähendades kontaktpindade vahelist hõõrdumist, tagamaks lüliti korrektse töö ka pärast paljusid töotsükleid. Samuti omab valitud lüliti kahte kinnitusava, mille abil on poltidega võimalik täpselt fikseerida lüliti asukoht. Lüliti elektrilise võimekuse näitajad võimaldavad lülitada kuni 5A voolu 125VAC juures. [4; lk 1, 4]

24V lülitussignaali juhitakse elektrikilbi kontaktoris, kus toimub peakontaktori lülitus. Lisaks suunatakse lülitussignaal keskseadme trükkplaadile, kus sisendsignaali pingepiiratakse Raspberry-le vastuvõetavaks 3.3V [6] pingega signaaliks. Signaali kesk-
arvutisse juhtimine täiendab kogu automaatika jälgitavust ning suurendab võimalusi automaatika programmeerimisel.

3.1.2. Keskseadmega ühendatud turva- ja raadiosideseadmed

Turvasüsteemi ja raadiosidet teostavad seadmed, kujutatud üldskeemil ([Lisa 2.](#)), kasutatakse hoone ja territooriumi valve ning kaughalduse eesmärgil. Seadmete asukoha

([Lisa 1.](#)) valikul sai otsustavaks tellija soov säilitada kliendi privaatsus, kuid tagada häirevõimekus olukorras, kus hoonesse sisenetakse omavoliliselt. Suitsuandurite asukoha valikutel lähtutakse “Nõuded tulekahju-signalisatsioonisüsteemidele” määrusest.

Tulekahju- ja signalisatsioonisüsteemi loomisel otsustati luua adresseeritud süsteem [7, §2], võimaldamaks täpselt tuvastada, millises hoone osas häire rakendub. Selline lähene-mine võimaldab tuvastatud info alusel vajadusel sihipäraselt ja operatiivselt tegutseda. Kõik tulekahju- ja signalisatsiooniseadmed on ühendatud keskseadmega, mis tuvastab häire oleku ja varustab seadmeid toitepingega. Tulekahju- ja signalisatsioonisüsteemi seadmeid toidetakse 12V toitepingega, kuna enamus sellealaseid seadmeid on toodetud 12V toitepingele.

3.1.2.1. Tuleohutus

Tulekahju avastamiseks kasutatakse hoones suitsuandureid, mis on paigaldatud kõikidesse ruumidesse ([Lisa 1.](#)), v.a. ruumid 3, 8 ja 9. Vastavalt määrusele ei ole tarvilik paigaldada suitsuandureid WC-desse mille pindala on alla 5m² ning sauna leili- ja pesuruumidesse [7, §8, lõige 2]. Ülejäänud ruumid on varustatud suitsuanduritega, mis paigaldatakse ruumi keskele, kattes vähemalt 6m raadiuse ulatuses kontrollala [7, §12, lõige 1]. Ruum 1 varustatakse kahe suitsuanduriga, kuna ruum on eraldatud suures osas kivimüüri-ga. Mõlema ruumiosa tuleohutuse tagamiseks varustatakse need eraldi suitsuanduritega.

Lähtuvalt eelnevast teabest, on suitsuandurid paigaldatud ruumidesse 1, 2, 4, 5, 6 ja 7. Andurite asukohad on märgitud hoone plaanile ringisisese tähistusega ning ühendatud punase joonega, mis kujutab kaabeldust. Paigaldatavad suitsuandurid omavad tootekoodi Q01-4. Nimetatud andur on 4 juhtme abil skeemi ühendatav seade, millest 2 juhet on toite tarvis, teised 2 häiresignaali kasutuses [8]. Sedalaadi seadme skeem võimaldab paindlikku häiresignaali tüübi valikut. Antud juhul maandatakse üks signaali juhtmetest.

Suitsuandurite 12V toitepinge saamiseks kasutatakse toiteelementi, mis loob stabiilse 12V pinge 24V-st. 12V toiteelemendi tarviliku väljundvoolu leidmiseks arvutatakse kõikide suitsuandurite summaarne voolutarve.

Vastavalt teadaolevatele andmetele suitsuanduri Q01-4 kohta, arvutatakse seadme voolutarve häirerežiimis 12V juures, kasutades elektrilise võimsuse valemit:

$$I_{SAA12} = \frac{U_{SA24} * I_{SAA24}}{U_{SA12}} = \frac{24V * 45mA}{12V} = 90mA \quad (1.1)$$

kus I_{SAA12} on suitsuanduri voolutarve 12V toitepinget kasutades, mA;
 U_{SA24} – suitsuanduri maksimaalne toitepinge, $U_{SA24} = 24V$ [8];
 U_{SA12} – suitsuanduri minimaalne toitepinge, $U_{SA12} = 12V$ [8];
 I_{SAA24} – suitsuanduri häiresoleku voolutarve 24V toitepinget kasutades, $I_{SAA24} = 45mA$ [8].

Kõikide suitsuandurite summaarse voolutarbe leidmiseks häireolukorras korrutatakse leitud voolutarve andurite arvuga:

$$I_{SSAA12} = I_{SAA12} * Z_S = 90mA * 6 = 540mA, \quad (1.2)$$

kus I_{SSAA12} on suitsuandurite summaarne voolutarve häireseisundis 12V kasutades, mA;
 I_{SAA12} – suitsuanduri häireseisundi voolutarve 12V toitepinget kasutades, $I_{SAA12} = 90mA$;
 Z_S – suitsuandurite koguarv, $Z_S = 6$.

Aku optimaalse mahtuvuse leidmiseks arvutatakse kõikide suitsuandurite voolutarve valverežiimis 12V kasutades:

$$I_{SAO12} = \frac{U_{SA24} * I_{SAO24}}{U_{SA12}} = \frac{24V * 0.075mA}{12V} = 0.15mA \quad (1.3)$$

kus I_{SAO12} on suitsuanduri valverežiimi voolutarve 12V toitepinget kasutades, mA;
 U_{SA24} – suitsuanduri maksimaalne toitepinge, $U_{SA24} = 24V$ [8];
 U_{SA12} – suitsuanduri minimaalne toitepinge, $U_{SA12} = 12V$ [8];
 I_{SAO24} – suitsuanduri valverežiimi voolutarve 24V toitepinget kasutades, $I_{SAO24} = 0.075mA$ [8].

Kõikide suitsuandurite summaarse valverežiimi voolutarbe leidmiseks korrutatakse leitud voolutarve andurite arvuga:

$$I_{SSAO12} = I_{SAO12} * 6 = 0.15mA * 6 = 0.9mA, \quad (1.4)$$

kus I_{SSAO12} on suitsandurite summaarne valverežiimi voolutarve 12V toitepinget kasutades, mA;

I_{SAA12} – suitsuanduri valverežiimi voolutarve 12V toitepinget kasutades, $I_{SAA12} = 0.15mA$;

Z_S – suitsuandurite koguarv, $Z_S = 6$.

3.1.1.2. Liikumisandurid

Liikumisandurite ülesanne on tuvastada liikuvaid objekte hoones olukorras, kui hoone on valve all. Selleks on paigaldatud kaks liikumisandurit asukohtadesse, kust on parim ülevaade valvatava pinna enim läbikäidavatest ruumidest. Andurid on tähistatud kui A1 ja A4 ([Lisa 1](#)). Liikumisandur, mida lahenduses kasutatakse, omab tootekoodi BV-601. Nimetatud andur valiti samadel põhimõtetel nagu suitsuandur. Ühendusviis on samuti sarnane [9].

12V toiteelemendi väljundvoolu leidmiseks arvutatakse summaarne liikumisandurite voolutarve häireolukorras:

$$I_{SLAH} = I_{LAH} * Z_L = 17.5mA * 2 = 35mA, \quad (2.1)$$

kus I_{SLAH} on liikumisandurite summaarne voolutarve häireolukorras, mA;

I_{LAH} – liikumisanduri voolutarve häireolukorras, $I_{LAH} = 17.5mA$ [9];

Z_L – liikumisandurite koguarv, $Z_L = 2$.

Aku optimaalse mahtuvuse leidmiseks arvutatakse kõikide liikumisandurite voolutarve valverežiimis:

$$I_{SLAV} = I_{LAV} * Z_L = 16.5mA * 2 = 33mA, \quad (2.2)$$

kus I_{SLAV} on liikumisandurite summaarne voolutarve valverežiimis, mA;
 I_{LAV} – liikumisanduri voolutarve valverežiimis, $I_{LAV} = 16.5mA$ [9];
 Z_L – liikumisandurite koguarv, $Z_L = 2$.

3.1.2.3. Valvekaamerad

Valvekaameraid kasutatakse territooriumi valve ja reaalajas jälgimise eesmärgil. Valvekaamerate asetus on tähistatud märgetega K1 ja K2 ([Lisa 1.](#)). Turvasüsteemis kasutatakse kaameraid DN IR30m.

Toode valiti 355° vaatenurga võimekust silmas pidades. Sellist seadet kasutades on lihtne jälgida suurt ala, mis klassikalise kaamera vaateväljast välja jääks. Samuti omab seade IR valgustust, mis aitab seadmel pilti tuvastada pimeduses 30m kaugusele. Lisaks omab seade IP67 märgist, sobides välitingimustesse. Seade kasutab andmeedastuseks standardset võrguprotokolli, mille abil ühendatakse ta kohalikku arvutivõrku. Seadme ühendatakse vooluvõrku seadmesse sisseehitatud PoE liidest kasutades.[10]

PoE liidesega toidetakse kaameraid läbi ruuteri, kus pinget muutmata juhitakse toitepinge PoE liidesesse [3]. Seda teades arvutatakse summaarne kaamerate voolutarve, mille abil luuakse 24V toiteseadet ja arvutatakse akupank.

Kaamerate summaarne voolutarve:

$$I_{SK} = \frac{P_K * Z_K}{U_{24}} = \frac{9.75W * 2}{24V} = 813mA, \quad (3.1)$$

kus I_{SK} on summaarne kaamerate voolutarve täisvõimsusel, mA;
 P_K – ühe kaamera tarvitav võimsus täiskoormusel, $P_K = 9.75W$ [10];
 U_{24} – 24V toitepinge, $U_{24} = 24V$;
 Z_K – kaamerate koguarv, $Z_K = 2$.

3.1.2.4. Raadioride

Raadioride lahendust kasutatakse kohaliku arvutivõrgu ühendamiseks eemalasuva arvutivõrguga. Sellest arvutivõrgust on võimalik hallata loodavat automaatikat. Raadioride lahenduse tarvis kasutatakse 5GHz WiFi andmesidelahendust.

5GHz WiFi sageduse eelis laialt kasutusel 2.4GHz sageduse ees on suurem lubatud saatja võimsus [11], mis mõjutab tuvastatava signaali leviku kaugust. Tellija testimiste kohaselt on maksimaalse lubatud võimsusega 2.4GHz WiFi signaali kvaliteet on kehv või olematu tingimustes, kus vastuvõtjaga piiratud silmside on 300m vahemikus. Seega kasutatakse antud projektis 5GHz sagedust. Projekti teostamiseks valiti 1W saatmisvõimsusega 5GHz WiFi andmesideseade SXT Lite5 [12]. WiFi seadet toidetakse PoE liidest kasutades.

3.1.1.5. Häiresireen

Häiresireeni kasutatakse häireolukorra väljendamiseks. Häiresireeni abil teatatakse ümbruskonnale, et on toimunud kas sissemurdmine või tulekahju. Häiresireenina kasutatakse hetkel olemasolevat sireeni, mis töötab pingel 230VAC. Häiresireeni lülitamist reguleerib keskseade.

3.1.3. Keskseadme trükkplaadi skeem

Keskseadme trükkplaadi ([Lisa 3](#), lk 2) ülesanne on töödelda jadaühendusandmeid, andurite ning lülitussignaale, muutes need vastuvõetavaks juhitavatele seadmetele. Trükkplaadi tegevusvaldkonda saab jaotada 4 kategooriasse:

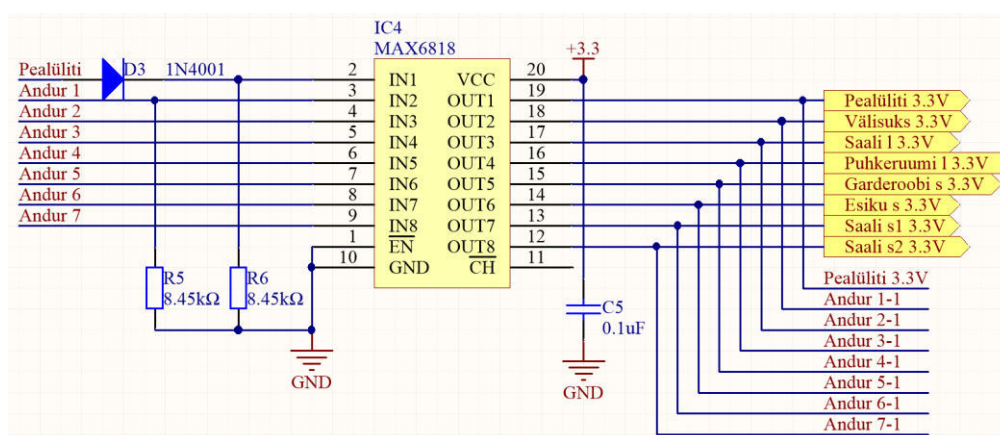
- Liikumis- ja suitsuandurite ning pealüliti signaalide pinge piiramine Raspberry-le vastuvõetavaks pingeks.
- USART andmeedastusprotokolli muundamine RS-485 standardi kohaselt.
- Sireeni aktiveerimise skeem.

- Toitepinge reguleerimine vastavalt keskseadmes olevate ja keskseadmest toidet saavate seadmete toitepingele.

3.1.3.1. Andurite ja lülitite signaali pinge piiramine

Andurite ja lülitite signaali pinge piiramise skeemi kuuluvad seadmed tähistustega IC4 ja IC5. Kõik komponendid, mis on juhtmete abil ühendatud seadmega, kuuluvad seadme üksusesse. Terminalid tähistustega J1, J3, ja J4 on kasutusel töötlemata signaali vastu võtmiseks (J3 ja J4) või töödeldud signaali edastamiseks Raspberry-le (J1). Terminali J5 kasutatakse andurite toitmiseks.

Kõik eelnevalt väljatoodud seadmed teostavad sarnaseid operatsioone, kuid nende välises skeemis on erinevusi signaali tüübi erinevuste tõttu. Kirjeldatavate seadmete ülesanne on muuta andurite signaalpinge vastuvõetavaks Raspberry-le, samal ajal kaitstes trükkplaadi sisemist skeemi välise skeemi lühise eest. Samuti omavad seadmed IC4 ja IC5 (MAX6818) sisse ehitatud lülitussignaali ebamäärasust eemaldavat skeemi, muutes väljundsignaali puhtaks ja konkreetseks. MAX6818 ühenduste analüüsitakse joonist 3.1.



Joonis 3.1. MAX6818 ([Lisa 3](#), lk 2)

Enamus andureid on ühendatud MAX6818 sisendisse otse. Seda võimaldab asjaolu, et liikumis- ja suitsuandurite signaali lülituse tegeva relee üks kontaktidest on maandatud, teine ühendatud MAX6818-ga. Seega tuvastab MAX6818 olukorra, kus sisendviik on

maandatud. Normaalolekus on sisendviik pingestatud seadme siseses skeemis toitepingega läbi takisti, mille väärtus on vähemalt $32k\Omega$, hoides viigu sisendi loogiliselt kõrgena [13; lk 2, lk 4 joonis 1]. Relee lülituse korral maandatakse viik, muutes sisendi loogiliseks madalaks. Maandatud viigu voolutarvet kasutatakse toiteelemendi arvutuseks.

Maandatud viigu voolutarbe arvutamiseks kasutatakse Ohmi seadust:

$$I_{IC1R} = \frac{U_{3.3}}{R_{IC1}} = \frac{3.3V}{32k\Omega} = 0.103mA \quad (4.1)$$

kus I_{IC1R} on MAX6818 ühe sisendviigu voolutarve maandatult, mA;

$U_{3.3}$ – MAX6818 toitepinge, $U_{3.3} = 3.3V$ ([Lisa 3](#), lk 2);

R_{IC1} – MAX6818 viigu pingestatud sisemise takisti minimaalne väärtus, $R_{IC1} = 32k\Omega$ [13, lk 2].

Andurite väljundid, viigud nimedega „Pealüliti“ ja „Andur 1“, on ühendatud MAX6818-ga viisil, mis moodustab sisemiste takistitega ja väliste takistitega (R5 ja R6) pingejagurid. Pingejaguri ülesanne on hoida viigu pinge normaalolekus alla MAX6818 sisendviigu sisendit tuvastava lävipinge, milleks on minimaalselt 0.8V [13, lk 2].

Pingejaguri väljundpingeks võetakse 0.7V, mis on alla minimaalse lävipinge. Maandatud takisti R5:

$$R5 = R_{IC1} * \frac{1}{\left(\frac{U_{3.3}}{U_{0.7}} - 1\right)} = 32 * 10^3 * \frac{1}{\left(\frac{3.3V}{0.7V} - 1\right)} = 8615\Omega \quad (4.2)$$

kus R5 on pingejaguri maandatud takisti, Ω ;

R_{IC1} – MAX6818 viigu pingestatud sisemise takisti minimaalne väärtus, $R_{IC1} = 32k\Omega$.

$U_{3.3}$ – viiku pingestav toitepinge, $U_{3.3} = 3.3V$;

$U_{0.7}$ – pingejaguri valitud väljastatav pinge, $U_{0.7} = 0.7V$.

Kuna leitud 8615Ω suurune takistit ei laialt levinud, kasutatakse lähimat väikseimat väärtust, vähendades seeläbi pingejaguri väljundpinget. Valitud takisti suuruseks 8450Ω , seega $R5 = 8450\Omega$.

Andurite aktiivses olekus sisestatakse viikudesse kas 24V („Pealüliti“) või 12V („Andur 1“), sellega ületades viigu sisendi tuvastus-lävipinge, aktiveerides seega MAX6818 väljundsignaali. Diiodi D3 eesmärk skeemis on takistada MAX6818 normaaloleku pinge sattumist teistesse skeemidesse, mis asuvad väljaspool kirjeldatavat trükkplaati.

MAX6818 on pingestatud, kasutades 3.3V, võimaldades seadme väljundisse anda 3V [13, lk 3], mis ühendatakse otse Raspberry GPIO-sse. 3.3V toitepinge kasutamiseks ühendatakse MAX6818 toiteviik Raspberry GPIO-st kättesaadava 3.3V toiteviiguga. Summaarse 3.3V voolutarbe leidmiseks arvutatakse mõlema seadme, IC4 ja IC5, voolutarbed. Arvutusel võetakse arvesse mõlema seadme voolutarve ja ühendatud viikude voolutarve ning seadmete arv:

$$I_{3.3} = Z_{MAX12} * I_{IC1} + Z_{M_11} * I_{IC1R} = 2 * 0.02mA + 11 * 0.103mA = 1.173mA \quad (4.3)$$

kus $I_{3.3}$ on 3.3V toitepinge summaarne voolutarve, mA;

I_{IC1} – MAX6818 loogika voolutarve, $I_{IC1} = 0.02mA$ [13, lk 2];

I_{IC1R} – MAX6818 ühe sisendviigu voolutarve maandatult, $I_{IC1R} = 0.103mA$ (4.1);

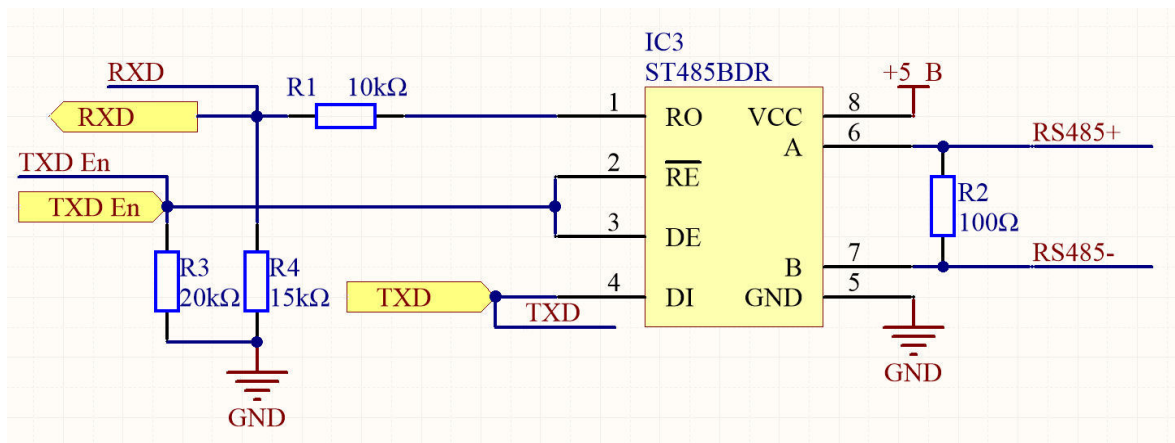
Z_{MAX12} – keskseadme MAX6818-te arv, $Z_{MAX12} = 2$;

Z_{M_11} – keskseadme MX6818 sisendviikude arv, $Z_{M_11} = 11$.

Saadud tulemus on sobilik toitmaks seadmeid, kasutades Raspberry 3.3V GPIO viike. 3.3V GPIO viikude suurim lubatud voolutarve on 50mA [14], arvutatud 1.175mA jääb selle piiridesse.

3.1.3.2. Keskseadme RS-485 standardi andmesideseade

RS-485 standardi kohase andmeside tekitamiseks kasutatakse seadet ST485BDR (IC3). Seade võimaldab USART jadaühendusprotokolli andmed töödelda RS-485 standardi kohaseks diferentseeritud signaaliks. Seadme ja sellega ühendatud komponentide analüüsiks kasutatakse skeemi joonisel 3.2.



Joonis 3.2. Keskseadme RS-485 seade ([Lisa 3](#), lk 2)

Seade on ühendatud Raspberry-ga, kasutades viike tähistustega „RXD“, „TXD“ ja „TXD En“. Nimetatud viigud on ühendatud Raspberry-ga läbi terminali J1. Viikude „RXD“ ja „TXD“ eesmärk on vastavalt võtta vastu või saata USART signaali, Raspberry vaatevinklist. „TXD“ on ühendatud otse ST485BDR-ga, edastades andmed seadmesse. Saabuvad andmed „RXD“ viigust läbivad pingejagurit. Pingejagur on skeemis, kuna Raspberry vajab 3.3V või vähemat GPIO viigu sisendpingena. Seadme ST485BDR väljundpinge on 5V [15, lk 5, tabel 5], sarnane seadme enda toitepingega.

Pingejaguri takisti R4, võttes takisti R1 väärtuseks 10kΩ ja väljundpingeks 3V:

$$R4 = R1 * \frac{1}{\frac{U_5}{U_3} - 1} = 10k\Omega * \frac{1}{\frac{5V}{3V} - 1} = 15k\Omega \quad (5.1)$$

kus R4 on pingejaguri maandatud takisti, kΩ;

R1 – pingejaguri pingestatud takisti, R1 = 10kΩ;

U₅ – 5V toitepinge, U₅ = 5V;

U₃ – pingejaguri väljundpinge, U₃ = 3V.

5V toiteelemendi tarviliku väljundvoolu leidmiseks arvutatakse seadme ST485BDR voolutarve:

$$I_{5V1} = \frac{U_5}{R1+R4} + I_{IC2} = \frac{5V}{(10+1.5)k\Omega} + 0.3mA = 0.5mA, \quad (5.2)$$

kus I_{5V1} on seadme ST485BDR summaarne voolutarve 5V toitepinget kasutades, mA;

U₅ – 5V toitepinge, U₅ = 5V;

R1 – „RXD“ pingejaguri pingestatud takisti, R1 = 10kΩ;

R4 – „RXD“ pingejaguri maandatud takisti, $R4 = 15k\Omega$;

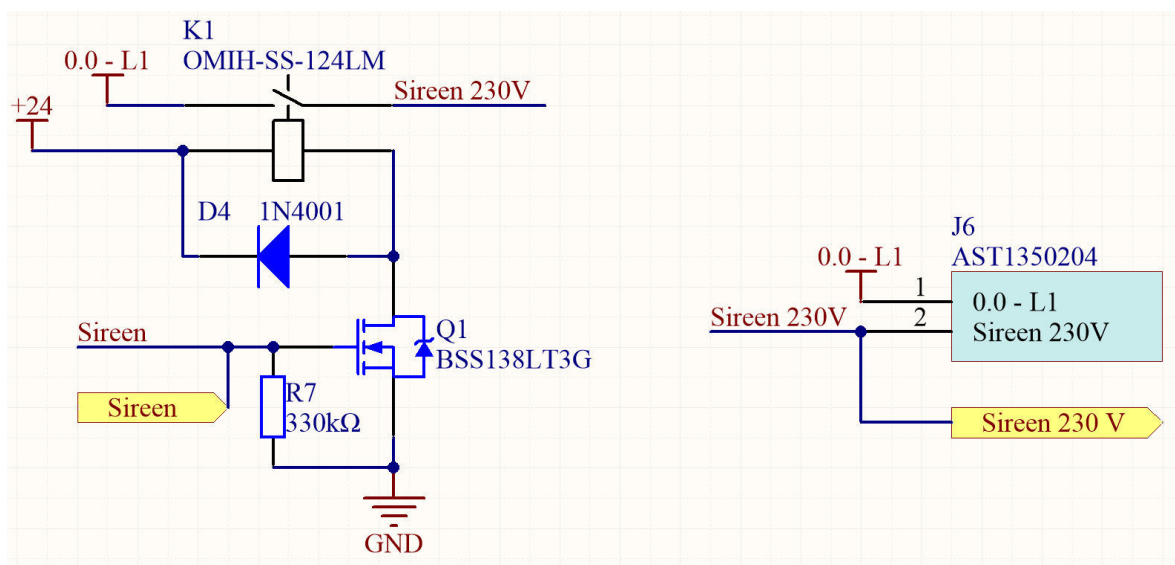
I_{IC2} – seadme ST485BDR loogika tarbitav vool, $I_{IC2} = 0.3mA$ [15, lk 1].

Viik tähistusega „TXD En“ on ühendatud seadme viikudega „DE“ ja pööratud sisendloogikat kasutava „RE“ -ga. Nende viikude abil valitakse, kas seade ST485BDR võtab vastu või saadab andmeid. Loodud skeemi abil on seade passiivses olekus alati valmis vastu võtma andmeid. Seda võimaldab maandatud takisti R3, aktiveerides viigu „RE“, mis on infovoo vastuvõttu lubav viik [15 lk 3, joonis 1, tabel 2].

Töödeldud RS-485 signaaliviikude vahele on ühendatud takisti R2 väärtusega 100Ω . R2 väärtuse on võrdne cat5 kaabli keerdpaaride näivtakistusega [16, lk 2, tabel 1]. R2 takistit on keerdpaaride vahele tarvis, kuna see vähendab saadetava signaali müra [17, tabel 4]. RS-485 standardi kohased signaalid saadetakse läbi terminali J3 kilbi kontrollerrisse.

3.1.3.3. Häiresireeni rele

Häiresireeni juhtimiseks 3.3V abil, mida Raspberry GPIO väljutab, on loodud skeem, mis juhib 24V abil sireeni 230VAC lülitusreleid. Sireeni juhtimise analüüsiks on juhtskeem toodud joonisel 3.3.



Joonis 3.3. Häiresireeni lülituskeem ([Lisa 3](#), lk 2)

3.3V signaal „Sireen“ lülitab N tüüpi MOSFET-it, mis loogilise kõrge signaali korral avab MOSFET-i, aktiveerides relee, mis lülitab 230VAC pinget. Skeemis kasutatav relee (OMIH-SS-124LM) suudab lülitada 250VAC juures 16A [18, lk 1], mis on sireeni lülitamiseks piisav. On teada, et relee mähise võimsus on 720mW [18, lk 1], selle abil arvutatakse mähise voolutarve. Arvutatud voolutarvet kasutatakse MOSFET-i valikul ning toiteblokki arvutustes.

Mähise voolutarve:

$$I_{K1} = \frac{P_{K1}}{U_{24}} = \frac{720mW}{24V} = 80mA, \quad (6.1)$$

kus I_{K1} on relee mähise voolutarve, mA;

P_{K1} – relee mähise võimsus, $P_{K1} = 720mW$ [18, lk 1];

U_{24} – 24V toitepinge, $U_{24} = 24V$.

Arvutatud andmete põhjal valiti juhtivaks MOSFET-iks toode BSS138LT3G. Nimetatud MOSFET on võimeline lülitama 200mA-list voolu [19, lk 1], mis jääb arvutatud 80mA piiridesse. Lisaks on teada, et MOSFET-i lävipinge on 0.5V ... 1.5V, muutes selle sobivaks 3.3V-se pinge abil lülituste tegemiseks.

Skeemi on lisatud diodid D4 rööbiti releega K1, suunates mähise induktsoonvool tagasi toiteallikasse, kui MOSFET suletakse. Lisaks on MOSFET-i pais maandatud läbi takisti, tagades passiivses olekus MOSFET-i suletud oleku.

Relee klemmide pinge ja 230VAC signaali suunamiseks trükkplaadile ja trükkplaadilt kasutatakse terminali tähisega J6.

3.1.3.4. Keskseadme toide

Keskseadme toiteelementide kooslusse kuuluvad seadmed tähistustega IC1 ja IC2 ning terminalid tähistustega J1 ja J2. Komponendid, mis on juhtmete abil ühendatud eelnevalt nimetatud seadmetega, kuuluvad nende seadmete üksustesse.

Eelnevalt on teada, et keskseadme siseselt kasutatakse 5V toitepinget. 5V toitepinget kasutab Raspberry ja RS-485 standardi üksus. Neid andmeid teades leitakse 5V toiteelemendi tarvilik väljundvool.

5V toiteelemendi väljundvoolu võimekuse arvutamiseks kasutatakse tarbijate voolutarbeid:

$$I_{S5B} = (I_{Ras} + I_{5V1}) * PT = (2A + 5 * 10^{-4}A) * 1.2 = 2.4A, \quad (7.1)$$

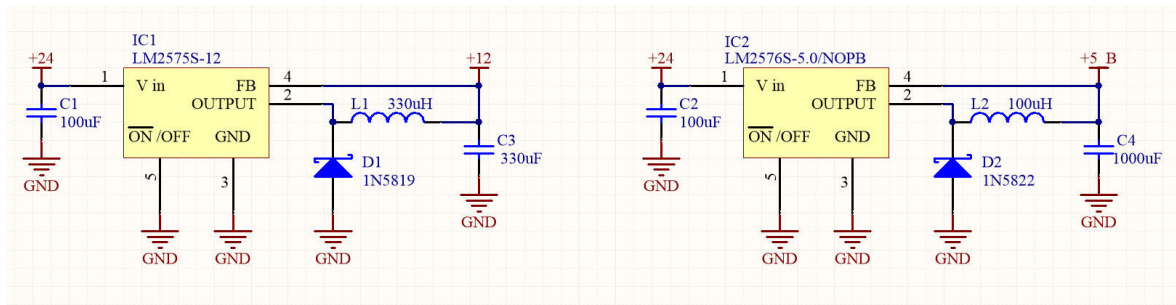
kus I_{S5B} on keskseadme summaarne 5V toitepinge voolutarve, A;

I_{Ras} – Raspberry maksimaalne voolutarve, $I_{Ras} = 2A$ [20];

I_{5V1} – RS-485 üksuse voolutarve, $I_{5V1} = 500\mu A$ (5.2);

PT – parandustegur, $PT = 1.2$ [21, lk 327].

Teades vajaliku toiteelemendi väljundvoolu, leiti sobiv toiteelement LM2576S-5.0/NOPB. Tegemine on eelnevalt sätestatud väljundväärtusega pingeregulaatoriga, mille maksimaalne lubatud väljundvool on 3A. Seadmega on juhtmete abil ühendatud komponendid, mis on antud seadme andmelehel (joonis 3.4.) [22, lk 1].



Joonis 3.4. Keskseadme toiteelemendid

Toiteelemendi vool 24V pingel ahelas:

$$I_{24B5} = \frac{\frac{U_5 * I_{S5B}}{U_{24}}}{\eta_{5B}} = \frac{\frac{5V * 2.4A}{24V}}{0.75} = 0.667A, \quad (7.2)$$

kus I_{24B5} on keskseadme 5V toiteelemendi vool 24V ahelas, A;

U_5 – 5V toitepinge, $U_5 = 5V$;

U_{24} – 24V toitepinge, $U_{24} = 24V$;

I_{S5B} – keskseadme 5V ahela tarbitav vool, $I_{S5B} = 2.4A$ (7.1);

η_{5B} – LM2576S-5.0/NOPB pingeregulaatori kasutegur, $\eta_{5B} = 75\%$ [22, lk 3].

Keskseade kasutab lisaks 5V toitepingele ka 12V toitepinget liikumis- ja suitsuandurite toiteks. Vajaliku toitevoolu leidmiseks arvutatakse kõikide seadmete summaarne voolutarve, mis kasutavad 12V toitepinget.

Maksimaalse 12V voolutarbe leidmiseks liidetakse kõik 12V-ga toidetavate seadmete häiresolekute voolud:

$$I_{12B} = (I_{SSAA12} + I_{SLAH}) + PT = (0.54A + 0.035A) * 1.2 = 0.69A, \quad (7.3)$$

kus I_{12B} on 12V summaarne voolutarve häireolekus, A;

I_{SSAA12} – summaarne suitsuandurite voolutarve häireolukorras, $I_{SSAA12} = 0.54A$ (1.2);

I_{SLAH} – summaarne liikumisandurite voolutarve häireolukorras, $I_{SLAH} = 0.035A$ (2.1);

PT – parandustegur, $PT = 1.2$ [21, lk 327].

Pingeregulaatoriks, mille väljundvool on piisav, osutus seade LM2575S-12. Nimetatud pingeregulaatori lubatud väljundvool on kuni 1A, sobides antud skeemi. Komponentid, mis LM2575S-12-ga ühendatud, on toodud seadme andmelehel (joonis 3.4.) [23, lk 1].

Pingeregulaatori maksimaalne vool, ühtlasi voolutarve häireolukorras, 24V pinge ahelas:

$$I_{24B12} = \frac{\frac{U_{12} * I_{12B}}{V_{24}}}{\eta_{12B}} = \frac{\frac{12V * 0.69A}{24V}}{0.75} = 0.46A, \quad (7.4)$$

kus I_{24B12} on keskseadme 12V toiteelemendi häireoleku vool 24V ahelas, A;

U_{12} – 12V toitepinge, $U_{12} = 12V$;

U_{24} – 24V toitepinge, $U_{24} = 24V$;

I_{12B} – keskseadme poolt tarbitav vool 12V ahelas, $I_{12B} = 0.69A$ (7.3);

η_{12B} – LM2575S-12 pingeregulaatori kasutegur, $\eta_{5B} = 75\%$ [23, lk 4].

Keskseadme summaarne voolutarve 24V ahelas, häiresolekus:

$$\begin{aligned} I_{24B} &= I_{24B5} + I_{24B12} + I_{SK} + \frac{P_R}{U_{24}} + \frac{P_{5GHZ}}{U_{24}} = \\ &= 0.667A + 0.46A + 0.813A + \frac{3W}{24V} + \frac{8W}{24V} = 2.398A, \end{aligned} \quad (7.5)$$

kus I_{24B} on keskseadme maksimaalne voolutarve 24V ahelas, A;
 I_{24B12} – 12V toiteelemendi vool häiresolekul 24V ahelas, $I_{24B12} = 0.259A$ (7.4);
 I_{24B5} – 5V toiteelemendi vool 24V ahelas, $I_{24B5} = 0.375A$ (7.2);
 I_{SK} – summaarne kaamerate voolutarve 24V ahelas, $I_{SK} = 0.813A$ (3.1);
 P_R – ruuteri maksimaalne võimsus, $P_R = 3W$ [3];
 U_{24} – 24V toitepinge, $U_{24} = 24V$;
 P_{5GHz} – 5GHz WiFi seadme maksimaalne voolutarve, $P_{5GHz} = 8W$ [12].

3.1.4. Reservtoiteallikas

Tagamaks turvasüsteemi 72 tunnise töö voolukatkestuse korral, kasutakse reservtoiteallikat. Turvasüsteemi 72 tunnise töö tagamiseks arvutatakse tarvilik aku mahtuvus, kasutades teadaolevaid andmeid turvasüsteemi ja keskseadme voolutarbe kohta.

Reservtoiteallikatena on suuresti levinud happeakud ja liitium-ioon akud. Käesoleva projekti raames otsustati kasutada happeakut. Antud projektis happeaku eelis liitium-ioon aku ees on liitium-ioon aku sobimatus olla pikaajaliselt täielikult laetud seisundis, kurnates liitium-ioon akut [24]. Lisaks on tarviliku 24V liitium-ioon akude laadimiseks vajava skeemi koostamine keerukam, sest skeemi loomiseks vajalikud komponendid ei ole laialt levinud.

Aku optimaalse mahtuvuse arvutamiseks lähtutakse „Nõuded tulekahju-signalisatsiooni-süsteemidele“ määrusest. Vaadeldava määruse kohaselt peab tulekahjusignalisatsiooni-süsteemi reservtoiteallikas olema võimeline toitma süsteemi valverežiimis 72 tundi jooksul. Lisaks valverežiimile peab olema tagatud ka toide häiresolekus 30 minuti kestel [7, §17].

Teadaolevate andmete põhjal arvutatakse aku tarvilik mahtuvus häireolekus:

$$C_H = I_{24B} * t_{0.5h} = 2.398A * 0.5h = 1.199Ah, \quad (8.1)$$

kus C_H on aku mahtuvus keskseadme töö tagamiseks häiresolekus 30-ks minutiks, Ah;
 I_{24B} – keskseadme summaarne voolutarve häiresolekus 24V ahelas, A;
 $t_{0.5h}$ – tarvilik keskseadme tööaeg häiresolekus reservtoiteallikast, $t_{0.5h} = 0.5h$.

Valverežiimiks tarviliku akumahtuvuse arvutamiseks kasutatakse eelnevalt väljaselgitatud andmeid andurite ja keskseadme voolutarbe kohta.

Valverežiimi 12V summaarse voolutarbe leidmiseks liidetakse kõik 12V-ga toidetavate seadmete valverežiimi voolutarbed:

$$I_{12BV} = (I_{SSAO12} + I_{SLAV}) + PT = (0.0009A + 0.033A) * 1.2 = 0.041A \quad (8.2)$$

kus I_{12BV} on 12V summaarne voolutarve valverežiimis, A;

I_{SSAO12} – summaarne suitsuandurite voolutarve valverežiimis, $I_{SSAO12} = 0.0009A$ (1.4);

I_{SLAV} – summaarne liikumisandurite voolutarve häireolukorras, $I_{SLAV} = 0.033A$ (2.2);

PT – parandustegur, $PT = 1.2$ [21, lk 327].

Keskseadme valverežiimi voolutarve 24V pinges ahelas:

$$I_{24B12V} = \frac{\frac{U_{12} * I_{12BV}}{V_{24}}}{\eta_{12B}} = \frac{\frac{12V * 0.041A}{24V}}{0.75} = 0.027A, \quad (8.3)$$

kus I_{24B12V} on keskseadme 12V toiteelemendi voolutarve 24V ahelas valverežiimis, A;

U_{12} – 12V toitepinge, $U_{12} = 12V$;

U_{24} – 24V toitepinge, $U_{24} = 24V$;

I_{12BV} – keskseadme poolt tarbitav vool 12V ahelas valverežiimis, $I_{12BV} = 0.041A$ (7.4);

η_{12B} – LM2575S-12 pingeregulaatori kasutegur, $\eta_{12B} = 75\%$ [23, lk 4].

Keskseadme valverežiimi summaarse 24V voolutarbe leidmiseks arvutatakse kõikide toiteelementide ja 24V tarvitavate seadmete valverežiimi summaarne voolutarve. Summaarse voolutarbe alusel arvutatakse arendatava automaatika aku mahtuvus.

Keskseadme summaarne voolutarve 24V ahelas valverežiimis:

$$\begin{aligned} I_{24BV} &= I_{24B5} + I_{24B12V} + I_{SK} + \frac{P_R}{U_{24}} + \frac{P_{5GHZ}}{U_{24}} = \\ &= 0.667A + 0.027A + 0.813A + \frac{3W}{24V} + \frac{8W}{24V} = 1.965A, \end{aligned} \quad (8.4)$$

kus I_{24BV} on keskseadme summaarne voolutarve 24V ahelas valverežiimis, A;
 I_{24B12V} – 12V toiteelemendi voolutarve 24V ahelas valverežiimis, $I_{24B12} = 0.027A$ (7.6);
 I_{24B5} – 5V toiteelemendi voolutarve 24V ahelas, $I_{24B5} = 0.375A$ (7.2);
 I_{SK} – summaarne kaametare voolutarve 24V ahelas, $I_{SK} = 0.813A$ (3.1);
 P_R – ruuteri maksimaalne võimsus, $P_R = 3W$ [3];
 U_{24} – 24V toitepinge, $U_{24} = 24V$;
 P_{5GHz} – 5GHz WiFi seadme maksimaalne voolutarve, $P_{5GHz} = 8W$ [12].

Arvutud andmete põhjal arvutatakse aku tarvilik mahtuvus valverežiimis:

$$C_V = I_{24BV} * t_{72h} = 1.965A * 72h = 141.48Ah, \quad (8.5)$$

kus C_V on aku mahtuvus keskseadme valverežiimis, tagamaks töö 72-ks tunniks, Ah;
 I_{24BV} – keskseadme summaarne voolutarve 24V ahelas valverežiimis, A;
 t_{72h} – tarvilik valverežiimi tööaeg reservtoiteallikast, $t_{72h} = 72h$.

Summaarse tarviliku aku mahtuvuse leidmiseks liidetakse leitud mahtuvused ja korrutatakse parandusteguriga:

$$C_{AKU} = (C_V + C_H) * PT = (141.48Ah + 1.199Ah) * 1.2 = 171.215Ah, \quad (8.6)$$

kus C_{AKU} on tarvilik aku mahtuvus, Ah;
 C_V – aku mahtuvus keskseadme valverežiimis töö tagamiseks 72-ks tunniks, $C_V = 141.48Ah$;
 C_H – aku mahtuvus keskseadme töö tagamiseks häireolekus 30-ks minutiks, $C_H = 1.199Ah$;
 PT – parandustegur, $PT = 1.2$ [21, lk 327].

Arvutatud aku mahtuvus ümardatakse 180Ah-ks, mis on laialdaselt levinud aku mahtuvus. Akupank koostatakse kahest jadamisi ühendatud 12V 180Ah akust (BT1, BT2) ([Lisa 4](#), lk 1), kuna arvutatud väärtusega 24V happeakud ei ole laialdaselt levinud.

3.2. Sauna puldi arendus

Sauna puldi arendamisel lähtuti nõuetest, mis on toodud peatükis [1.2. Sauna pult](#). Arendustegevusel loodi puldi elektriskeemid, mis koosnevad kahest põhilisest osast: esipaneeli trükkplaadi skeem ja tagapaneeli trükkplaadi skeem ([Lisa 5](#)).

3.2.1. Esipaneel

Esipaneeli ülesanne on võimaldada manuaalselt reguleerida leiliruumi temperatuuri ning lülitada kerise kütet ja leiliruumi valgustust sisse – välja. Samuti peab esipaneel andmevahetust tagapaneeliga, mis juhib esipaneeli. Esipaneel asub tellisseina sees ning on ligipääsetav ruumist tähistusega 6, olles kättesaadav kõikidele hoone külastajatele. ([Lisa 5](#), lk 2)

Suur osa esipaneelil asuvatest seadmetest ja skeemidest asuvad ka tagapaneelil, seega käsitletakse käesolevas peatükis vaid skeemi neid osi, millel puudub ühisosa tagapaneeliga.

3.2.1.1. Nupplülitid

Nupplülitusi kasutatakse sauna kerise ja leiliruumi valgustuse lülitamiseks. Nupplülituste tegemiseks kasutatakse roostevabast terasest valmistatud vandalismikindlaid lukustuvaid nupplüliteid (S1, S2) [26, lk 1]. ([Lisa 5](#), lk 1)

Manuaal-lülituse tähtsus seisneb eelneva automaatikaga tagasiühilduvus võimekuses, võimaldades teostada primaarseid lülitusi olukorras, kus loodav automaatika mingil põhjusel ei funktsioneer. Kui tagasiühilduvus ei ole aktiveeritud, kasutab lülituse signaali loodav automaatika. Nimetatud lülitid on mutritega kinnitatud sauna puldi roostevabast terasest esipaneelile. Lülitite juhtmed on ühendatud esipaneeli terminalidega J2 ja J3.

Nimetatud terminalidest juhitakse signaali muutmata kujul tagapaneelile, kasutades terminali J1. J1 terminali kaudu toimub kogu andmevahetus esi- ja tagapaneeli vahel. Lülitite signaalid juhitakse sauna puldist eraldi juhtme abil tagapaneelilt elektrikilpi, kus teostatakse jõulülitusi.

3.2.2. Tagapaneel

Tagapaneeli ülesanne on võimaldada reguleerida põrandakütete temperatuure, teostada temperatuuriandurite andmete lugemist ning edastada töödeldud temperatuuriandmed RS-485 standardit kasutades elektrikilpi, kus toimuvad jõulülitused. Tagapaneel on ligipääsetav ruumist tähistusega 7, mis on kättesaadav vaid teenindavale personalile. ([Lisa 5](#), lk 3)

3.2.2.1. Sauna puldi juhtseade

Sauna puldi juhib mikrokontroller ATmega164, kontrollides kõiki sauna puldi sisendeid, väljundeid ja puldi sisemist skeemi. Programmeerimise ja üldise skeemi lihtsuse mõttes otsustati kasutada tagapaneelis ja kilbi kontrolleris samu juht-kontrollereid, seega said kontrolleri valikul otsustavaks järgnevad asjaolud:

- 5V toitepinge;
- Analoogsisendite võimekus;
- USART protokoll võimekus;
- Kolme sisemise loendurkella ja PWM-i võimekus;
- Paindlik ICINT võimekus;
- Programmeerimisvõimekus, kasutades SPI-d;
- 32 sisend/väljund viiku.

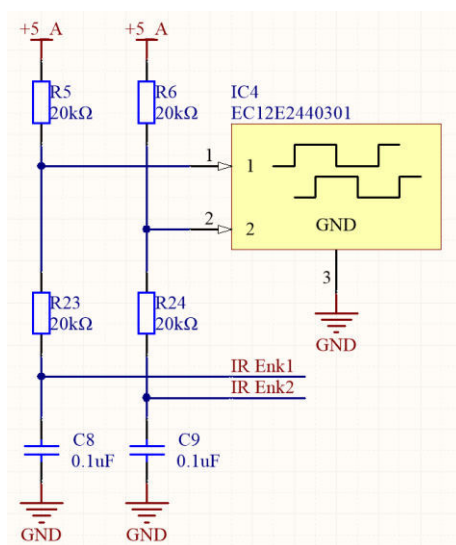
ATmega164 programmeerimiseks on SPI viikude külge ühendatud terminal J5, mis on standardne 10 viiguga ISP programmeerimisterminal. Sellisel viisil on seadme programmeerimine tehtud võimalikuks laiale programmaatorite variatsioonile. Lisaks ühendatud SPI viikudele, on ISP terminaliga ühendatud ka „RESET“ viik, mis omab pööratud loogikat. Seda viiku kasutatakse kontrolleri programmeerimisrežiimi esilekutsumiseks. „RESET“ viiguga rööbiti on ühendatud takisti R48, läbi mille viik pingestatakse. Pingestatuna on kontrolleri programmeeringut täitvas olekus.

Analoogsisendi müra vähendamiseks järgitakse kontrolleri tootja poolset soovitusi, kasutades pooli (L2) ja kondensaatorit (C12) kontrolleri sisese analoogsisendi toite filtreerimiseks [26, lk 244, joonis 23-9].

ATmega164-ga ühendatud viigud, mis omavad tähistega adressaate, selgitatakse samu adressaate omavate skeemide juures.

3.2.2.2. Sammvalija

Kütteseadmete temperatuuride sujuvaks reguleerimiseks kasutatakse sammvalijat. Sammvalija on seade, mis edastab koodketta pööramisel kahte pulseerivat signaali, olles üksteisega faasinihkes, kontrollerrisse. Selle teabe abil muudetakse kütteseadmete temperatuuri, analüüsides koodketta genereeritud signaalide faasinihete esinemisjärjekorda. Sammvalija ühendusviisi skeemis on kujutatud joonisel 3.6. Kujutatud sammvalijad asuvad nii esipaneelil kui ka tagapaneelil. Sauna puldis asub kirjeldatavaid sammvalijaid kolm: üks esipaneelil, kaks tagapaneelil.



Joonis 3.6. Sammvalija-koodketta skeem ([Lisa 5](#), lk 3)

Valitud sammvalija, tootekoodiga EC12E2440301, osutus valituks tänu järgnevatele omadustele:

- Õõnsa pöördvõlliga disain, avardades paneelidele loodava pöördnupu disainimisvõimalusi hilisemal puldi mehhaanilisel disainil [27, lk 1];
- Kõrge lubatud pöörete arv – 30000 pööret [27, lk 1];
- Vähene väändemoment – 3 +/- 2 mN*m [27, lk 1].

Sammvalija ühendusskeemi loomisel lähtuti suurelt osalt koodketta andmelehe soovistest. Andmelehe soovitusel on lisatud RC ahelaga, mille abil silutakse 2ms kestvat signaali ebamäärasust [27, lk 5]. Ahela loomisel tuleb silmas pidada asjaolu, et maksimaalne vool ühe sammvalija sisendterminali kohta tohib olla maksimaalselt 0.5mA [27, lk 1].

Vastavalt etteantud voolule, arvutatakse RC ahela takistite summaarne väärtus:

$$R5 \parallel R23 = \frac{U_5}{I_{EN}} = \frac{5V}{0.5mA} = 10k\Omega, \quad (9.1)$$

kus $R5 \parallel R23$ on RC ahela summaarne takistus, $k\Omega$;

U_5 – 5V toitepinge, $U_5 = 5V$;

I_{EN} – sammvalija lubatud vool sisendi kohta, $I_{EN} = 0.5mA$.

Teades, et $R5 \parallel R23$, järeldatakse, et $R5 = R23 = 20k\Omega$.

Teades RC ahela R osi nii laadumisel kui tühjenemisel, arvutatakse ahela C osa maha laadumisel, kasutades RC ahela ja ajakonstandi seost [28], võttes ajakonstandiks signaali ebamäärasuse aja:

$$C_{EN} = \frac{\tau_{EN}}{R21} = \frac{2ms}{20k\Omega} = 0.1\mu F, \quad (9.2)$$

kus C_{EN} on sammvalija RC ahela mahtuvus, μF ;

τ_{EN} – RC ahela ajakonstant, $\tau_{EN} = 2ms$;

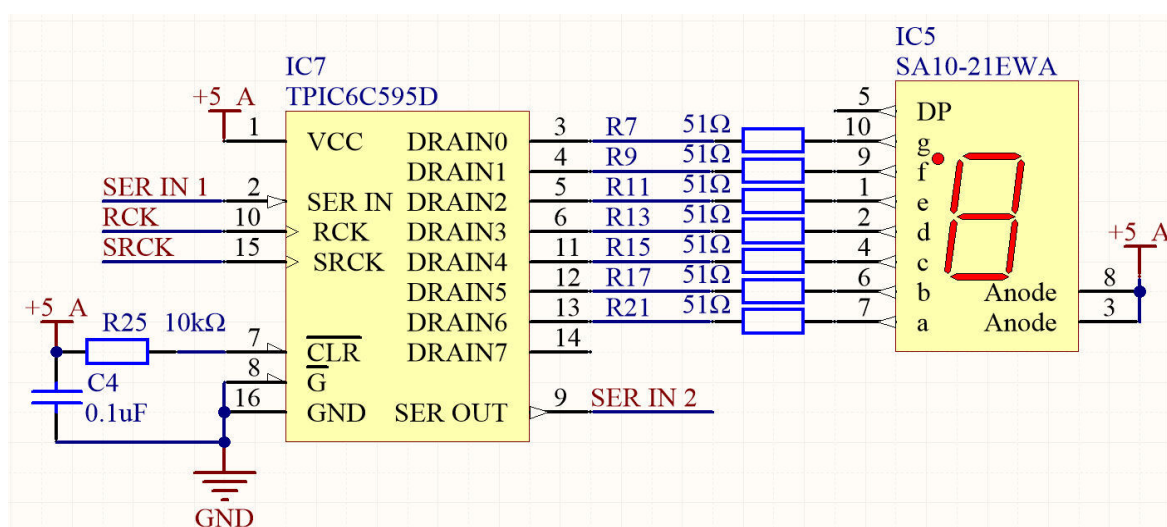
$R23$ – takisti, läbi mille toimub RC ahela maha laadumine, $R23 = 20k\Omega$.

RC ahela ajakonstandi seose alusel järeldatakse, et arvutatud mahtuvus sobib ka laadumise korral.

Sammvalija väljundviigud ühendatakse ATmega164 viikudega, mis omavad ICINT võimekust, olles viigu potentsiaali muutumise korral automaatselt võimeline tuvastama sammvalija asendi muutust.

3.2.2.3. 7-segmendiline LED numbritabloo

Reguleeritavate temperatuuride kuvamiseks kasutatakse 7-segmendilisi LED numbriabloosid. LED numbriabloode eeliseks analoogsete toodete ees on nende suhteliselt hea vastupidavus välistele mõjudele ja ühene mõistetavus tänu eredale valgusele. LED numbriabloode juhtimiseks on loodud skeem (joonis 3.7.). Sauna puldil on 7 numbriablood – 3 asuvad esipaneelil, 4 tagapaneelil. Kõik seadmed ja komponendid, mis on numbriabloodega juhtme abil ühendatud, kuulvad numbriabloo üksusesse.



Joonis 3.7. 7-segment numbriabloo üksuse skeem ([Lisa 5](#), lk 3)

Skeemis kasutatav 7-segmendiline LED numbriabloo omab tootekoodi SA10-21EWA. Nimetatud toode osutus sobilikuks tänu oma mõõtmetele, lubades esipaneelil lisaks 3 numbriabloole 180mm * 90mm avasse paigutada 2 nupplülitit ja koodketta. Samuti osutus nimetatud toode valituks tänu numbriabloo iseärasusele, milleks on LED elementide individuaalne juhtimine katoodide kaudu. Subjektiivsel hinnangul muudab selline ühendusviis transistoriga LED-ide lülituste programmeerimise mugavamaks – LED-i süütamiseks väljastatakse kontrollierist loogiline kõrge signaal. Samuti tagab selline ühendusviis numbriabloo täieliku passiivsuse olukorras, kus kontrollierist mingil põhjusel ei funktsioneer.

Kuna numbriabloosid on mitu, kasutatakse numbriabloode juhtimiseks nihkeregistreid, võimaldades 3 juhtviiku kasutades juhtida antud juhul 56-e viiku. Antud skeemis on kasutatud nihkeregistrit TPIC6C595D. Valitud nihkeregistri eelis analoogsete toodete ees

on sisseehitatud N-tüüpi MOSFET-ite olemasolu [29, lk 11, joonis 12], lubades teostada kuni 100mA-lisi lülitusi viigu kohta [29, lk 1]. Säärane disain aitab kokku hoida ruumi trükkplaadil kui ka komponentide kogumaksumuselt.

Numbritabloo LED-elementi normaaltoitepinge on 4V [30, lk 2]. Teades, et trükkplaati toidetakse 5V pingega, on tarvilik LED-elementi läbivat pinget piirata takistiga enne pingemaandamist läbi nihkeregistri MOSFET-i.

Pinget piirav takisti:

$$R_{LED} = \frac{U_5 - U_4}{I_{LED}} = \frac{5V - 4V}{0.02A} = 50\Omega, \quad (10.1)$$

kus R_{LED} on LED-elementi läbivat pinget piirava takisti väärtus, Ω ;

U_5 – 5V skeemi toitepinge, $U_5 = 5V$;

U_4 – LED-elementi normaal toitepinge, $U_4 = 4V$ [30, lk 2];

I_{LED} – LED-elementi voolutarve normaal toitepinge juures, $I_{LED} = 20mA$ [30, lk 2].

Kuna 50Ω suurust takistit turul laialt saadaval ei ole, kasutatakse lähimat suuremat takisti väärtust, tagamaks soovitud pingepiirangu. Sobivaks takisti väärtuseks osutus 51Ω , seega $I_{LED} = 51\Omega$.

Eelnevalt väljatoodult juhitakse numbritabloosid, kasutades nihkeregistri 3-me juhtviiku: „SER IN“, „RCK“ ja „SRCK“. Nimetatud viike juhitakse mikrokontrolleri SPI viikude kaudu [31], kasutades kontrollerisse sisseehitatud taktkella ja jadaandmevoo funktsioone. „SER IN“ viiku sisestatakse jadainformatsioon, mida kasutatakse rööpse väljundi saamiseks. Kui sisestatud jadainfo on pikem kui 8 bitti, mis on ühe nihkeregistri maksimumne mahtuvus, edastatakse see järgmisesse nihkeregistrisse kasutades „SER OUT“ viiku. „RCK“ ja „SRCK“ viike kasutatakse sisestatud jadaandmete salvestamiseks ja väljastamiseks nihkeregistrite väljunditesse. Viigud „RCK“ ja „SRCK“ on ühendatud kõikide nihkeregistritega rööbiti, lülitades kõiki registreid samaaegselt.

Viigud „G“ ja „CLR“ on vastavalt kas maandatud või pingestatud läbi takisti [29, lk 13, joonis 14]. Antud ühendusviisi on rakendatud, kuna nimetatud viikudele ei leitud antud projektis aktiivset rakendust.

Sauna puldi 5V toiteelemendi tarviliku väljundvoolu leidmiseks arvutatakse kõikide numbritabloo üksuste summaarne voolutarve.

Ühe numbritabloo üksuse voolutarbe arvutamiseks kasutatakse seadmete voolutarbeid:

$$I_{7seg} = Z_{LED} * I_{LED} + I_{NR} = 7 * 20mA + 0.5mA = 140.5mA, \quad (10.2)$$

kus I_{7SEG} on ühe numbritabloo üksuse maksimaalne voolutarve, mA;

Z_{LED} – kasutatavate LED-elementide arv, $Z_{LED} = 7$;

I_{LED} – ühe LED-elementi voolutarve 4V toitepinget kasutades, $I_{LED} = 20mA$ [30, lk 2];

I_{NR} – nihkeregistri loogika maksimaalne voolutarve, $I_{NR} = 0.5mA$ [29, lk 5, pt 6.5].

Kõikide numbritabloo üksuste voolutarbe leidmiseks korrutatakse arvutatud tulemus üksuste arvuga:

$$I_{S7SEG} = Z_{7SEG} * I_{7SEG} = 7 * 140.5mA = 983.5mA, \quad (10.3)$$

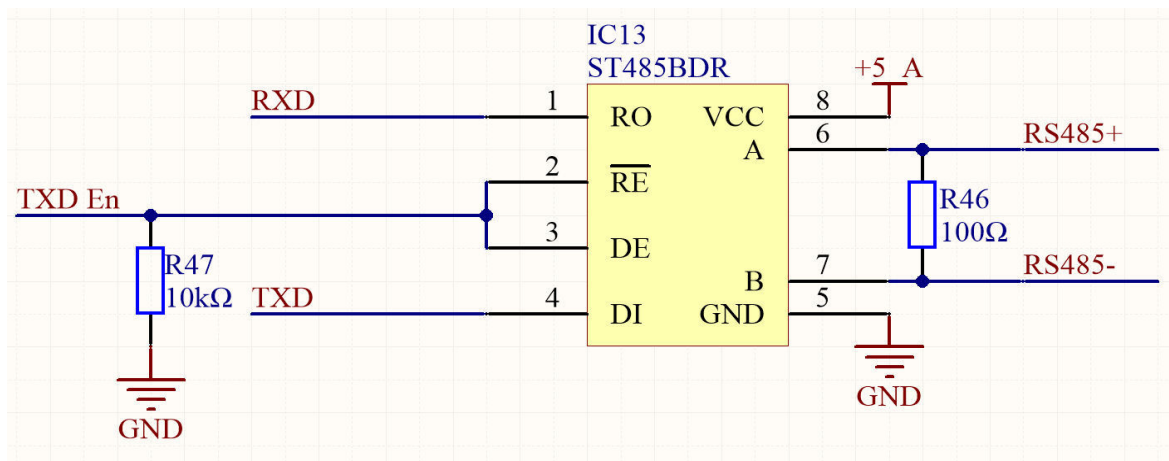
kus I_{S7SEG} on summaarne numbritabloo üksuste voolutarve, mA;

Z_{7SEG} – numbritabloo skeemide arv, $Z_{7SEG} = 7$;

I_{7SEG} – ühe numbritabloo üksuse maksimaalne voolutarve, $I_{7SEG} = 140,5mA$ (10.2).

3.2.2.4. Sauna puldi RS-485 standardi andmesideseade

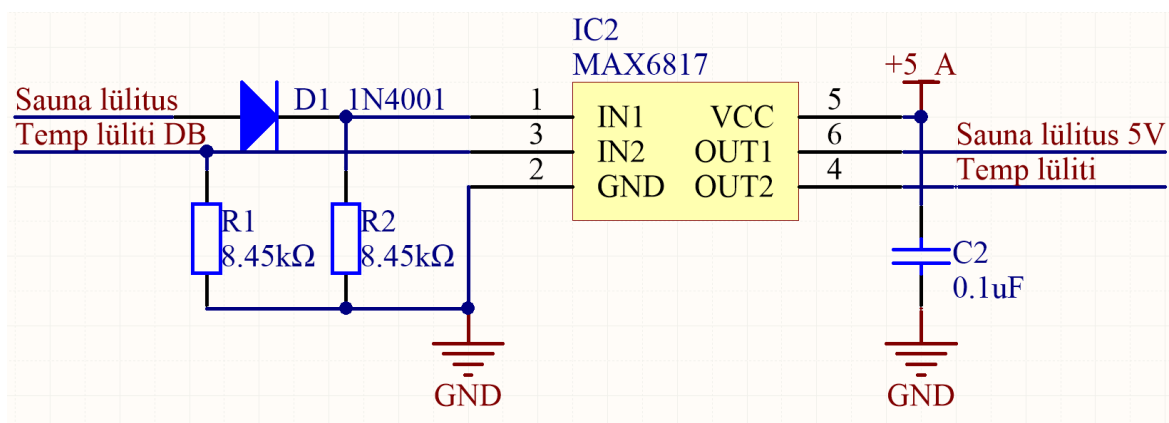
RS-485 standardi kohast andmesidet võimaldava seadme ülesanne ja tööpõhimõte on sama, mis seadmel, mida kirjeldati peatükis [3.1.3.2. Keskseadme RS-475 standardi andmesideseade](#). Tagapaneelil oleva skeemi (joonis 3.8.) erinevus keskseadme skeemist on „RXD“ ja „TXD En“ viikude ühendusviisid. Nimelt on tagapaneeli skeemil „RXD“ signaal ühendatud otse mikrokontrolleri USART viikudega, kuna ATmega164 võimaldab 5V pinget sisendviikudel. „TXD En“ viik on ühendatud mikrokontrolleri „OC2A“ tähistusega viiku, võimaldades RS-485 seadme andmeedastustsükli reguleerida PWM signaali kasutades [26, lk 139].



Joonis 3.8. Tagapaneeli RS-485 seade ([Lisa 5](#), lk 3)

3.2.2.5. Lülitussignaali pingete piiramine

Lülitussignaali pingete piiramiseks kasutatakse seadet MAX6817 (joonis 3.9.), mis on väiksem versioon seadmest MAX6818, mida kirjeldati peatükis [3.1.3.1. Andurite ja lülitite signaali pinge piiramine](#). Siinkohal piiratakse ja eemaldatakse signaali ebamäärasust signaalidelt „Sauna lülitus“ ja „Temp lüliti DB“, mille allikateks on kerist sisse lülitav nupplüliti ja leiliruumi ülekütmise eest kaitsev termolüliti S3 ([Lisa 6](#), lk 2). Töödeldud signaalid juhitakse mikrokontrollerisse.



Joonis 3.9. MAX6817 ([Lisa 5](#), lk 3)

Sauna puldi toiteelemendi tarviliku väljundvoolu arvutamiseks leitakse MAX6817 voolutarve:

$$I_{MAX3} = I_{IC1} + Z_{M_2} * I_{IC1R} = 0.02mA + 2 * 0.103mA = 0.226mA, \quad (11.1)$$

kus I_{MAX3} on MAX6817 üksuse summaarne voolutarve, mA;

I_{IC1} – MAX6817 toitevool, $I_{IC1} = 0.02mA$ [13, lk 2];

I_{IC1R} – MAX6818 ühe sisendviigu voolutarve maandatult, $I_{IC1R} = 0.103mA$ (4.1);

Z_{M_2} – MAX6817 sisendviikude arv, $Z_{M_2} = 2$.

3.2.2.6. Temperatuuriandurid

Kütteseadmete temperatuuride reguleerimiseks on tarvilik kütteseadmete hetketemperatuuri mõõta. Selleks kasutatakse temperatuuriandureid. Kõik sauna pulti suubuvad temperatuuriandurid läbivad tagapaneeli terminali tähistusega J3. J3 terminal toidab kõiki andureid 5V toitepingega. Sinna suubuvad ka temperatuuriandmed, mis juhitakse mikrokontrollerisse.

Sujuvaks temperatuuri reguleerimiseks ja temperatuuri mõõtmiseks otsustati kasutada temperatuuriandurit ND1K0.520.2FW.B.007. Nimetatud andur osutus valituks tänu sobivale mõõtevahemikule ($-60^{\circ}C \dots +200^{\circ}C$) [32, lk 1]. Samuti osutus sobilikuks nimetatud anduri analoogsignaali tõususirge koefitsient – 6180 ppm/K [32, lk 1], võimaldades võimalikult suurt signaali muutu $1^{\circ}C$ kohta. Nimetatud andur ühendatakse kontrolleriga sarnaselt pingejagurile, pingestatud takisti on temperatuuriandur, maandatud takisti on konstantse väärtusega.

Pingejaguri maandatud takisti leidmiseks arvutatakse termotakisti takistus $50^{\circ}C$ juures [33]:

$$R_{50deg} = R_{0deg} * [1 + (\Delta t_{50deg} * C_{RTD})] = 1000\Omega * [1 + (50^{\circ}C * 6180 \frac{ppm}{^{\circ}C})] = 1309\Omega \quad (12.1)$$

kus R_{50deg} on termotakisti takistus 50°C juures, Ω ;
 R_{0deg} – termotakisti takistus 0°C juures, $R_{0deg} = 1000\Omega$ [32, lk 1];
 Δt_{50deg} – temperatuuri muut 50°C võrra, $\Delta t_{50deg} = 50^\circ\text{C}$;
 C_{RTD} – termoanduri signaali tõususirge koefitsient, $C_{RTD} = 6180 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$.

Samuti arvutatakse termotakisti takistus 100°C juures [33]:

$$R_{100deg} = R_{0deg} * [1 + (\Delta t_{100deg} * C_{RTD})] = 1000\Omega * [1 + (100^\circ\text{C} * 6180 \frac{\text{ppm}}{^\circ\text{C}})] = 1618\Omega, \quad (12.2)$$

kus R_{100deg} on termotakisti takistus 100°C juures, Ω ;
 R_{0deg} – termotakisti takistus 0°C juures, $R_{0deg} = 1000\Omega$ [32, lk 1];
 Δt_{100deg} – temperatuuri muut 100°C võrra, $\Delta t_{100deg} = 100^\circ\text{C}$;
 C_{RTD} – termoanduri signaali tõususirge koefitsient, $C_{RTD} = 6180 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$.

1°C muutuse tuvastamiseks leidetakse pinge erinevus, mis on tarvilik 50°C muutuse jaoks [26, lk 247, pt 23.8]:

$$\Delta U = \frac{ADC * U_5}{1024} = \frac{50 * 5V}{1024} = \frac{125}{512}V \approx 0.244V, \quad (12.3)$$

kus ΔU on pinge muut 50°C-se erinevuse korral, V;
 ADC – analoogsisendi tuvastatav muutuste arv, $ADC = 50$;
 U_5 – 5V andurite toitepinge, $U_5 = 5V$.

Teadaolevate andmete abil lahendatakse võrrandsüsteem, leidmaks analoogsisendi sisendpinge 100°C korral:

$$\begin{cases} R_{ADC} = R_{50deg} * \frac{1}{\left(\frac{U_5}{U_{ADC} + \Delta U} - 1\right)} \\ R_{ADC} = R_{100deg} * \frac{1}{\left(\frac{U_5}{U_{ADC}} - 1\right)} \end{cases} \quad (12.4)$$

$$R_{50deg} * \frac{1}{\left(\frac{U_5}{U_{ADC} + \Delta U} - 1\right)} = R_{ADC} = R_{100deg} * \frac{1}{\left(\frac{U_5}{U_{ADC}} - 1\right)}$$

$$U_{ADC} = \frac{U_5 * R_{50deg} - U_5 * R_{100deg} - R_{50deg} * \Delta U + R_{100deg} * \Delta U + \sqrt{(R_{50deg} - R_{100deg}) * (U_5^2 * R_{50deg} - U_5^2 * R_{100deg} + U_5 * R_{50deg}^2 - U_5 * R_{100deg}^2 + 2 * U_5 * R_{50deg} * \Delta U + 2 * U_5 * R_{100deg} * \Delta U)}}{2 * R_{50deg} - 2 * R_{100deg}} =$$

$$\frac{5V * 1309\Omega - 5V * 1618\Omega - 1309\Omega * 0.244V + 1618\Omega * 0.244V + \sqrt{(1309\Omega - 1618\Omega) * (5V^2 * 1309\Omega - 5V^2 * 1618\Omega + 5V * 1309\Omega^2 - 5V * 1618\Omega^2 + 2 * 5V * 1309\Omega * 0.244V + 2 * 5V * 1618\Omega * 0.244V)}}{2 * 1309\Omega - 2 * 1618\Omega} = 1.683V,$$

- kus U_{ADC} on analoogsisendi pinge 100°C korral, V;
 R_{ADC} – maandatav takisti;
 $U_5 = 5V$ toitepinge, $U_5 = 5V$;
 ΔU – pinge muut 50°C-se erinevuse korral, $\Delta U = 0.244V$;
 R_{50deg} – termotakisti takistus 50°C juures, $R_{50deg} = 1309\Omega$;
 R_{100deg} – termotakisti takistus 100°C juures, $R_{100deg} = 1618\Omega$.

Maandatava takisti väärtus:

$$R_{ADC} = R_{100deg} * \frac{1}{\left(\frac{U_5}{U_{ADC}} - 1\right)} = 1618\Omega * \frac{1}{\left(\frac{5V}{1.683V} - 1\right)} = 820\Omega, \quad (12.5)$$

- kus R_{ADC} on maandatava takisti väärtus, Ω ;
 $U_5 = 5V$ toitepinge, $U_5 = 5V$;
 U_{ADC} – analoogsisendi pinge 100°C korral, $U_{ADC} = 1.683V$;
 R_{100deg} – termotakisti takistus 100°C juures, $R_{100deg} = 1618\Omega$;

Toiteelemendi tarviliku väljundvoolu leidmiseks arvutatakse kõikide temperatuuriandurite voolutarve:

$$I_{RTD} = Z_{RTD} \left(\frac{U_5}{R_{50deg} + R_{ADC}} \right) = 3 * \left(\frac{5V}{1309\Omega + 820\Omega} \right) = 7.046mA, \quad (13.1)$$

- kus I_{RTD} on temperatuuriandurite summaarne voolutarve, mA;
 Z_{RTD} – temperatuuriandurite arv, $Z_{RTD} = 3$;
 U_5 – temperatuuriandurite toitepinge, $U_5 = 5V$;
 R_{50deg} – termotakisti takistus 50°C juures, $R_{50deg} = 1309\Omega$;
 R_{ADC} – maandatava takisti väärtus, $R_{ADC} = 820\Omega$.

Andurid ühendatakse läbi 50mA sulavkaitsme mikrokontrolleriga, kaitstes mikrokontrollerit olukorras, kus andurite skeem on lühistunud. Samuti suubub läbi terminali J3 termolüliti signaal, mis rakendub olukorras, kus analoogväljundiga leiliruumi temperatuuriandur ei funktsioneer, kaitstes kerist ülekütmise eest.

3.2.2.7. Sauna puldi toide

Sauna puldi toitmiseks kasutatakse 5V toitepinget, mis saadakse pingemuunduri abil 24V-st. Sauna puldi toiteelemendi tarviliku väljundvoolu leidmiseks arvutatakse sauna puldi summaarne voolutarve:

$$I_{S5A} = PT * (I_{AT} + I_{S7SEG} + Z_{EN} * I_{EN} + I_{IC2} + I_{MAX3} + I_{RTD}) =$$

$$= 1.2 * (200mA + 983.5mA + 6 * 0.5mA + 0.3mA + 0.226mA + 7.046mA) = 1.43A, \quad (14.1)$$

kus I_{S5A} on sauna puldi summaarne voolutarve, A;

PT – parandustegur, $PT = 1.2$ [21, lk 327];

I_{AT} – ATmega164-e maksimaalne voolutarve, $I_{AT} = 200mA$ [26, lk 318, pt 28];

I_{S7SEG} – numbritabloo skeemide summaarne voolutarve, $I_{S7SEG} = 983.5mA$ (10.3);

Z_{EN} – sammvalija skeemi väljundviikude arv, $Z_{EN} = 6$;

I_{EN} – sammvalija voolutarve viigu kohta, $I_{EN} = 0.5mA$;

I_{IC2} – RS-485 seadme loogika voolutarve, $I_{IC2} = 0.3mA$;

I_{MAX3} – MAX6817 seadme voolutarve, $I_{MAX3} = 0.226mA$ (11.1);

I_{RTD} – summaarne temperatuuriandurite voolutarve, $I_{RTD} = 7.046mA$ (13.1).

Arvutatud voolutarbe põhjal valiti toiteelemendiks pingeregulaator LM2592HVS-5.0/NOPB. Valitud seadme 5V maksimaalne väljundvool on 2A. Seadmega juhtme abil ühendatud komponendid on valitud seadme andmelehe soovitusel kohaselt [34, lk 1].

Sauna puldi voolutarve 24V pinge ahelas:

$$I_{24A5} = \frac{\frac{U_5 * I_{S5A}}{V_{24}}}{\eta_{5A}} = \frac{\frac{5V * 1.43A}{24V}}{0.76} = 0.392A, \quad (14.2)$$

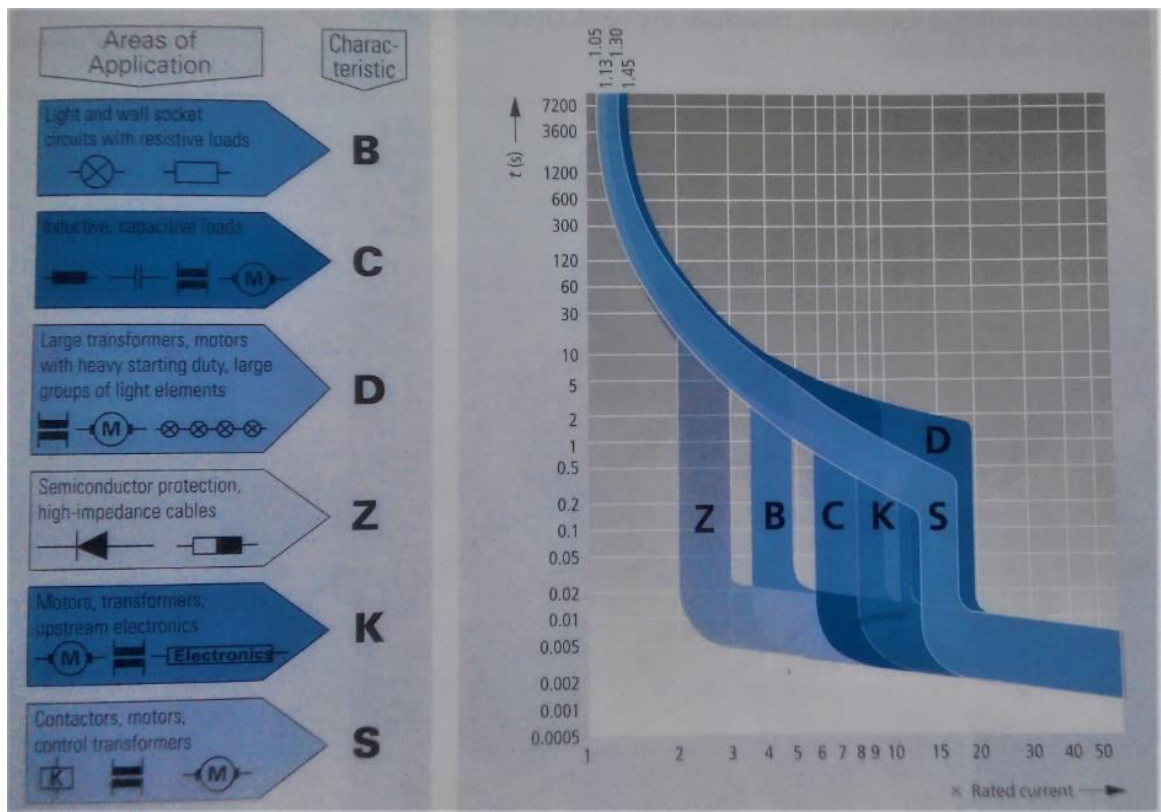
kus I_{24A5} on sauna puldi 5V toiteelemendi vool 24V ahelas, A;
 U_5 – 5V toitepinge, $U_5 = 5V$;
 U_{24} – 24V toitepinge, $U_{24} = 24V$;
 I_{S5A} – keskseadme vool 5V pinge korral, $I_{S5A} = 1.43A$ (14.1);
 η_{5A} – LM2592HVS-5.0/NOPB pingeregulaatori kasutegur, $\eta_{5A} = 76\%$ [34, lk 5].

3.3. Elektrikilbi arendus

Elektrikilbi arendamisel lähtuti nõuetest, mis on välja toodud peatükis [1.3. Elektrikilp](#). Elektrikilbi struktuurüksus ([Lisa 4.](#)) on loodava automaatika osa, kus teostatakse jõulülülitusi. Elektrikilp koosneb jõulülitust tegevatest seadmetest, automaatika toite skeemist, elektrikilpi juhtivast kontrollerrist ja rikkeid tuvastavast skeemist.

3.3.1. Elektrikilp

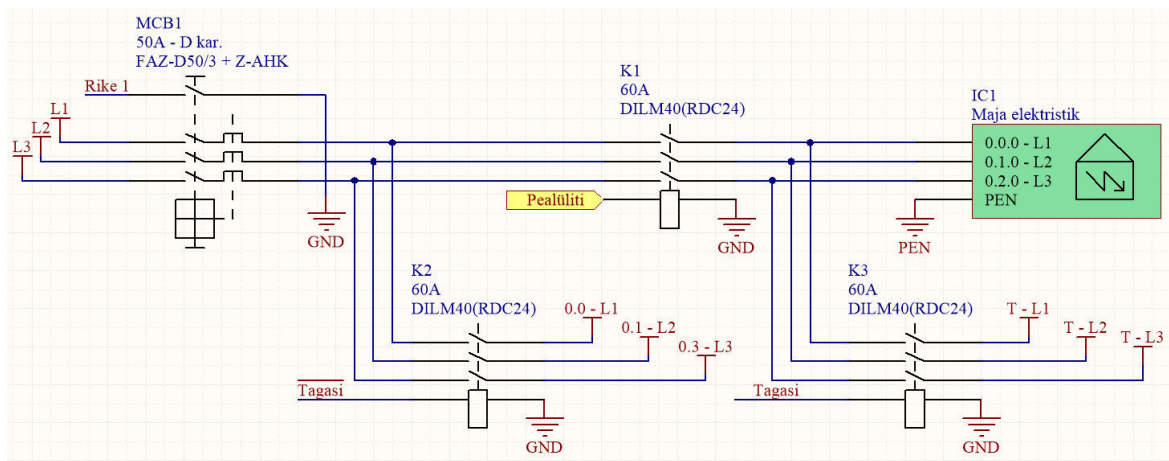
Käesoleva projekti raames vaadeldakse vaid arendatava automaatika poolt tehtavaid jõulülitusi. Elektrikilp rakendab jõulülitusi järgnevatele seadmetele: sauna keris, leiliruumi valgustus, soojaveeboiler, IR põrandaküte, elektriline põrandaküte ja soojuspump. ID kaardiga juhitud lülitis juhib ülejäänud maja elektriskeemi. Kõiki tehtavaid jõulülitusi rakendatakse kasutades 24V. Seadmeid kaitsvate kaitselülitite valikul on lähtutud ettevõtte Eaton poolt väljatoodud soovistest automaatkaitselülitite tüüpide rakendustele, vastavalt lülituskarakteristikute graafikule joonisel 3.10. Skeemides kasutatakse ettevõtte Eaton tooteid.



Joonis 3.10. Automaatkaitseülilite karakteristikud [35, lk 251]

3.3.1.1. Jõukaablite jaotus

Hoone jõukaablite jaotuse analüüsimiseks võetakse aluseks joonisel 3.11. olev jõukaablite jaotuse skeem. Hoonesse suubub 3 faasiline vool (L1, L2, L3) läbi 50A-lise peakaitseülilite (MCB1). 50A kaitse osutuks valituks, kasutades pretsedentide meetodit, teades, et hetkel kasutusel olev automaatkaitseülilite on samuti 50A-ne. Valituks osutus kaitseülilite FAZ-D50/3, omades D-karakteristikut, mis on sobilik suurte erinevat tüüpi koormuste jaoks [35, lk 254]. Lisaks on kaitseülilitiga ühendatud lisakontaktid, mis rakenduvad sünkroonis kaitseülilitiga. Sellisel viisil on võimalik tuvastada riket, mis on rakendanud peakaitseme. Lisakontakt, mis ühtib valitud kaitseülilitiga, omab tootekood Z-AHK [35, lk 265].



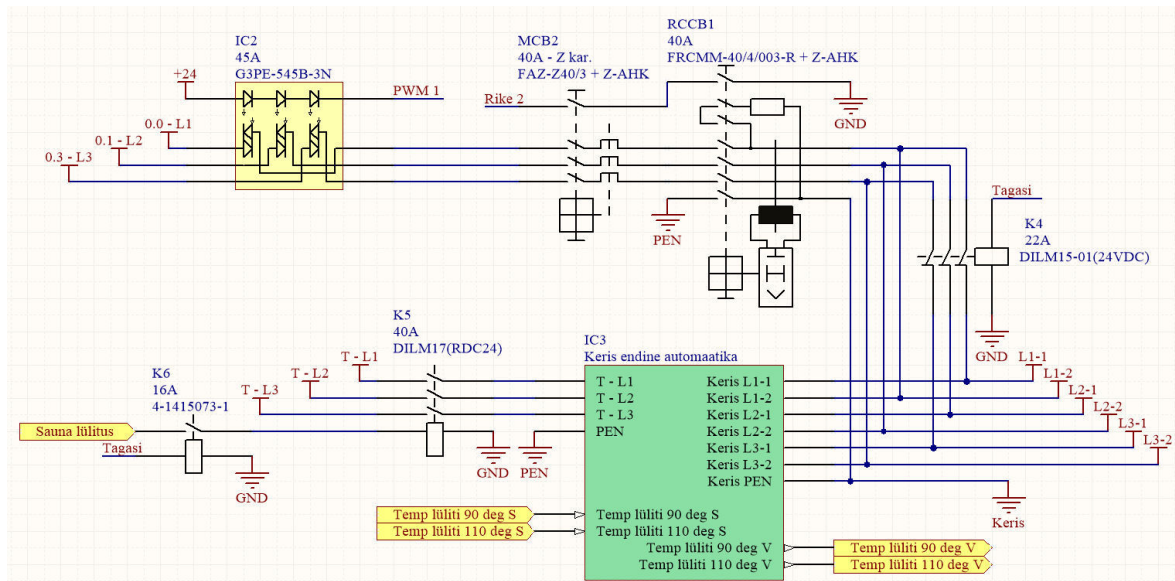
Joonis 3.11. Jõukaablite jaotus ([Lisa 4](#), lk 1)

Peakaitsemest jagatakse jõukaablid kaheks, tekitades eraldatud ahelad millede abil teostatakse automaatika lülitusi (0.0 – L1, 0.1 – L2, 0.3 – L3) ning lülitusi tagasiühilduvusrežiimis (T – L1, T – L2, T – L3). Kirjeldatud ahelad on eraldatud, kasutades 60A kontaktorit (K1), mis on rakendatav „Pealüliti“ signaali abil. Kirjeldatud ahelate eraldatus on tarvilik, kuna tagasiühilduval automaatikal puudub seadmeid automaatselt väljalülitav mehhanism, olles seega tuleohtlik. Lisaks asub tagasiühilduva ahela poolel ülejäänud hoone elektriabel, mis on lülitatav pealüliti poolt. Mõlemad eraldatud ahelad on juhitud 60A kontaktoriga (K2, K3), tagades seeläbi erinevate ahelate täieliku eraldatuse teineteisest. Kontaktorid tähistega K2 ja K3 on juhitud tagasiühilduvus- nupplüliti poolt, mis on lülitatav kilbi kontrollierist.

Skeemis kasutatakse 60A kontaktoreid. Kontaktori valikul osutus parimaks seade tootekoodiga DILM40(RDC24), omades 60A võimekust [35, lk 155].

3.3.1.2. Sauna kerise jõululitus

Sauna kerise jõulülitusskeem (joonis 3.12.) on loodud viisil, mis võimaldab kerise kütterežiimil stabiilselt hoida soovitud temperatuuril. Lisaks on loodud tagasiühilduvusskeem, kus tagasiühilduvus- nupplülitit lülitades ennistatakse täielikult eelnevalt kasutusel olnud automaatika.



Joonis 3.12. Sauna kerise jõulülitus ([Lisa 4](#), lk 1)

Loodavat sauna kerist jõulülitust juhtivat automaatikat toidetakse automaatika toite ahelast ning kerise töösüklit reguleeritakse SSR seadet kasutades. SSR võimaldab teostada lühiajalisi lülitusi, kasutades PWM signaali, mille abil proportsionaalselt reguleeritakse sauna kerise keskmist võimsust. SSR seadme eelis relee või kontaktori ees on kuluvate mehhaaniliste komponentide puudumine, tagades märkimisväärselt suurema töösüklite hulga.

Tarviliku SSR seadme võimekuse leidmiseks arvutatakse kerise voolutarve ühe faasi kohta, võttes aluseks sauna kerise seesmise elektrilise ühenduse skeemi ([Lisa 6](#), lk 1).

Sauna kerise voolutarve 1 faasi kohta arvutatakse kasutades elektrilise võimsuse valemit:

$$I_{1FK} = \frac{Z_{1.5} \cdot P_{1.5} + Z_{2.5} \cdot P_{2.5}}{U_{230}} = \frac{2 \cdot 1.5kW + 2 \cdot 2.5kW}{230VAC} = 34.786A, \quad (15.1)$$

kus I_{1FK} on sauna kerise voolutarve ühe faasi kohta, A;

$Z_{1.5}$ – 1.5kW võimsusega kütteelementide arv, $Z_{1.5} = 2$;

$Z_{2.5}$ – 2.5kW võimsusega kütteelementide arv, $Z_{2.5} = 2$;

$P_{1.5}$ – 1.5kW kütteelemendi võimsus, $P_{1.5} = 1.5kW$;

$P_{2.5}$ – 2.5kW kütteelemendi võimsus, $P_{2.5} = 2.5kW$;

U_{230} – kütteelementide toitepinge, $U_{230} = 230VAC$.

Arvutatud tulemuse põhjal valiti välja SSR seade G3PE-545B-3N (IC2). Tegu on 3-faasilise SSR seadmega, mis võimaldab juhtida kuni 45A voolu faasi kohta. Valitud seadet on võimalik juhtida, kasutades 12V...24V.[36; lk 1, 3]

Reguleeritud kerise toide läbib kahte kaitselüliti, esimene on automaatkaitaselülit, teine rikkevoolukaitse. Valitud kaitselülid (MCB2, RCCB1) on 40A-lised, olles sobivad kerise kaitsmiseks (joonis 3.10.). Skeemi valiti Z-karakteristikuga automaatkaitaselülit FAZ-Z40/3 (MCB2) [35, lk 255], kaitsmaks pooljuhtseadet, mis juhib kerise kütterežiimi. Rikkevoolukaitse lisati skeemi elektriohutuse tagamiseks leiliruumis. Valituks rikkevoolukaitsmeks osutus toode FRCMM-40/4/003 (RCCB1). Tegu on S-tüüpi kaitsmega, mis rakendub ilma viivitusega [35, lk 259], olles elektriohutuse seisukohast niivõrd ohtlikus keskkonnas parim kaitse inimestele. Mõlemate kaitselülid on varustatud lisakontaktidega Z-AHK, võimaldades tuvastada rakendunud kaitselüliteid.

Tagasiühilduvat eelnevalt kasutusel olnud kerise kütteautomaatikat toidetakse tagasiühilduvus-jõukaableid kasutades. Tagasiühilduva automaatika täielikuks rakendamiseks peab toimuma tagasiühilduvuslülitus, aktiveerides relee (K6). Rakendunud relee võimaldab lülitada kontaktorit (K5) juhul, kui sauna puldist on toimunud sauna kütet sisse lülitav nupplülitus. Aktiveeritud sauna kütte lülitussignaali korral lülitatakse kontaktorit (K5), läbi mille toidetakse endist kerise automaatikat. Vastavalt kerise arvutuslikule voolutarbele kasutatakse tagasiühilduva automaatika lülitamiseks 40A kontaktorit. Kontaktori lülitust võimaldav relee on 16A-line. Nimetatud kontaktor on siinkohal elektriliselt üle dimensioneeritud, kuid loodava automaatika komplekteerimise lihtsustamiseks kasutatakse sama releetüüpi, mis leiab kasutust hilisemalt kirjeldatud skeemides.

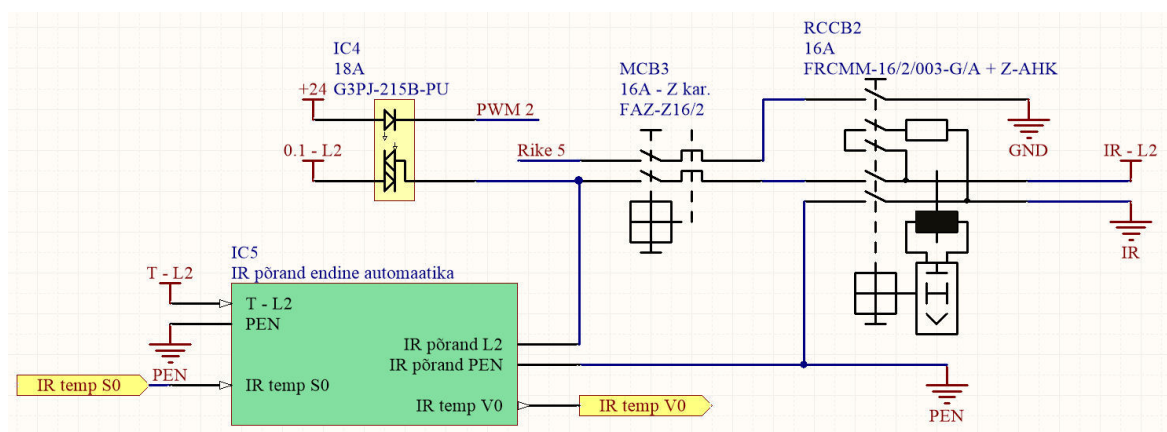
Tagasiühilduva keriseautomaatika lülitamiseks kasutatav 40A kontaktor (K5) valiti DILM17-10(RDC24) [35, lk 155]. Kontaktori lülitust võimaldav relee (K6) valiti tootekoodiga 4-1415073-1 [37, lk 1].

Eelnevalt käibel olnud automaatika kasutab temperatuuri reguleerimiseks pooleks jaotatud faasidega lülitusi. Mõlemaid poolfaase kasutatakse täie võimsusega kütte juures. Kui soovitud temperatuur on saavutatud, lülitatakse üks poolfaas välja ning algab jahtumisrežiim. Loodud automaatika kasutab mõlemaid poolfaase ühtse faasina. Selleks, et tagada mõlema automaatika korrektne faaside jaotus, on loodava automaatika väljundid ühendatud poolfaase eraldava lülitusmehhanismiga. Nimelt on kõikide faaside üks poolfaas

eraldatud NC-klemmitüüpi omava kontaktoriga (K4), mis tagasiühilduvussignaali korral eraldab faasid poolfaasideks. Valitud kontaktor (K4), tootekood DILM15-01(24VDC) 22A, et lülitada poolt soovitud voolust [35, lk 155].

3.3.1.3. Põrandakütte jõulülitused

IR põrandakütte, kui ka pesuruumi elektrilise põrandakütte, jõulülituskeem on loodud viisil, mis võimaldab põrandakütte kütterežiimil stabiilselt hoida soovitud temperatuuri. Lisaks on loodud tagasiühilduvusskeem, kus tagasiühilduvus- nupplülitit kasutades ennistatakse täielikult eelnevalt kasutusel olnud automaatika. Mõlemate põrandakütete ühendusskeemid omavad sama loogikat. Skeemide analüüsimiseks kasutatakse IR põrandakütte skeemi (joonis 3.13.).



Joonis 3.13. IR põrandakütte jõulülitus ([Lisa 4](#), lk 1)

Põrandakütete kasutatav täpne voolutarve on teadmata, skeemide koostamisel kasutati pretsedentide meetodit – hetkel on mõlema põrandakütte puhul kasutusel 16A-line automaatkaitselüliti. Teostamaks sujuvat temperatuuri reguleerimist ja stabiilset temperatuuri hoidmist, kasutatakse SSR seadet. Teades, et SSR-i poolt juhitud vool peab olema vähemalt 16A, valiti skeemi seade G3PJ-215B-PU (IC4). Nimetatud seadme maksimaalne voolu on 18A, lisaks on seade juhitud, kasutades 12V...24V pingega juhtsignaali [38, lk 1]. SSR-i juhtlülitust teostab kilbi kontrolleri, kasutades PWM signaali.

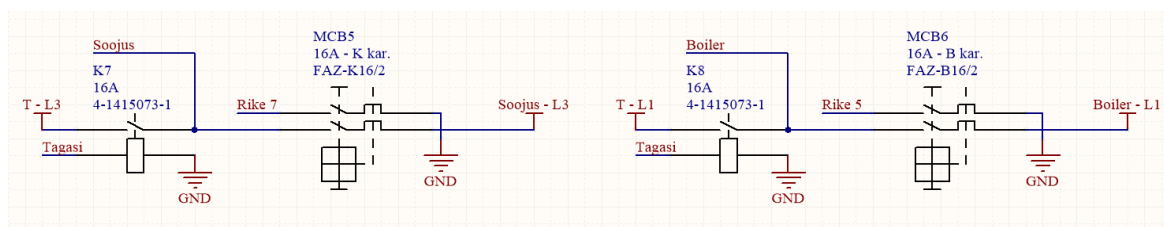
SSR-i pool reguleeritud toitepinge läbib enne kütteseadmega ühendamist automaatkaitselüliti FAZ-Z16/2 (MCB3) ja rikkevoolukaitset FRCMM-16/2/003-G/A (RCCB2).

Mõlemad kaitselülitid on 16A-lised. Automaatkaitselüliti omab Z-karakteristikut, tagades pooljuhtseadme kaitse [35, lk 255, 260]. Rikkeid tuvastava skeemi loomisel on kasutatud kahepooluselist automaatkaitselülitit (MCB3), mille üks poolustest on rikketuvastussignaali, teine jõuahela lülitamiseks. Rikkevoolukaitsel omab rikketuvastus-skeemi tarvis lisakontakti, mis ühildub valitud rikkevoolukaitsmega, omab tootekoodi Z-AHK [35, lk 265]

Põrandakütte tagasiühilduvuse loomiseks ei ole tarvilik väline skeem, mis teostaks lülitusi. Kuna põrandakütte endine automaatika juhtimine toimub täielikult ühest seadmest, lülitatakse tagasiühilduvuse korral endine automaatika selle nupplülitist sisse. Jõukaablid ühendatakse eelnevalt kirjeldatud kaitselülititega.

3.3.1.4. Boileri ja soojuspumba tagasiühilduvus jõulülitused

Boileri ja soojuspumba automaatikapoolsed jõulülitused rakendatakse kilbi kontrollis. Tagasiühilduvus- jõulülitused on viidud elektrikilpi (joonis 3.14.), vähendades tagasiühilduvussüsteemi sõltuvust loodud automaatikast.



Joonis 3.14. Boileri ja soojuspumba tagasiühilduvus- jõulülitused ([Lisa 4](#), lk 1)

Nii boileri kui ka soojuspumba puhul ei ole teada nende täpne voolutarve, seega kasutatakse lülitismehhanismide võimekuse hindamisel hetkel töötava süsteemi parameetreid – mõlema seadme puhul 16A.

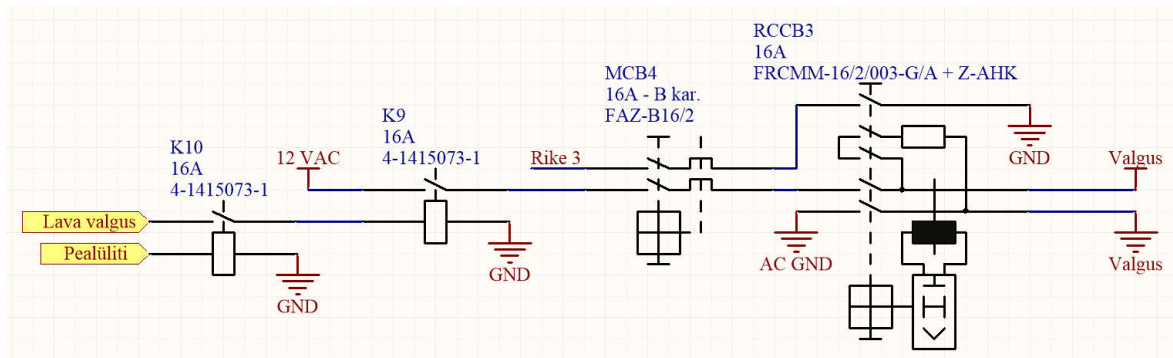
Tagasiühilduva skeemi aktiveerimiseks toimub tagasiühilduvus-nupplülitus kilbi kontrollis, mis rakendab releed (K7, K8). Rakendunud releed võimaldavad tagasiühilduvus-jõukaablite abil toita lülitatavaid seadmeid. Loodud automaatika poolt lülitatud toitepinge ühendatakse skeemiga releede ja seadet kaitsvate automaatkaitselülitite vahele. Skeemis

kasutatakse 2-pooluselisi automaatkaitseüliteid, mille ühte poolust läbib seadme rike tuvastav signaal, teisest poolust seadme toitepinge. Soojuspumba puhul kasutatakse K-karakteristikuga kaitselüliti FAZ-K16/2 [35, lk 254] (MCB5), sobitades kõige paremini soojuspumba tööks vajalike seadmete iseloomu ja elektriliste omadustega. Boileri puhul kasutatakse B-karakteristikuga kaitselüliti FAZ-B16/2 [35, lk 253] (MCB6).

3.3.1.5. Leiliruumi valgustuse jõulülitis

Hetkel kasutusel olev leiliruumi valgustus on lahendatud kahe 60W hõõglambiga, mida toidetakse 12VAC toitepingega. Selline valgustusviis on antud olukorras ainuõige, kuna valgustus töötab ohutut pinget kasutades ning hõõglamp on suuteline töörežiimis taluma leiliruumi keskkonnas olevat kõrget temperatuuri.

Skeem, mis juhib leiliruumi valgustuse lülitust (joonis 3.15.), on komplekteeritud 16A releedest ja kaitselülititest, vähendades seeläbi tellitavate seadmete variatsiooni. Sellisel viisil loodud süsteemi hooldamine on lihtsam. Leiliruumi valgustuse lülitamiseks peab esmalt olema sisse lülitatud hoone pealüli, mis aktiveerib rele (K10), juhtides seeläbi sauna puldil teostatavat leiliruumi valgustuse lülitamise juhtsignaali. Valgustuse lülitamissignaali omakorda rakendab järgmise rele (K9), mis juhib 12VAC toitepinget. 12VAC pinge on ühendatud hõõglampidega läbi B-karakteristikut omava automaatkaitseüliti FAZ-B16/2 [35, lk 253] (MCB4) ja rikkevoolukaitsme FRCMM-16/2/003-G/A (RCCB3). Rikete tuvastusskeemi tarvis on kasutatud kahepooluseline automaatkaitseüliti, millest üks poolustest on rikketuvastussignaali lülitamiseks, teine jõuvoolu lülitamiseks. Rikkevoolukaitsme omab rikketuvastusskeemi tarvis lisakontakte Z-AHK [35, lk 265], mis kinnitatakse rikkevoolukaitsme külge.



Joonis 3.15. Leiliruumi valgustuse jõulülitus ([Lisa 4](#), lk 1)

Leiliruumi valgustamiseks trafo tarviliku väljundvoolu leidmiseks arvutatakse valgustuseks kasutatav vool:

$$I_L = \frac{Z_{hõ} * P_L}{U_{12VAC}} = \frac{2 * 60W}{12VAC} = 10A, \quad (16.1)$$

kus I_L on valgustuse pool tarvitatav vool, A;

$Z_{hõ}$ – hõõglampide arv, $Z_{hõ} = 2$;

P_L – kasutatavate hõõglampide võimsus, $P_L = 60W$;

U_{12VAC} – hõõglampide toitepinge, $U_{12VAC} = 12VAC$.

Hõõgpirnide toitmiseks kasutatakse trafot (T1), mis on hetkel kasutusel valgustuse toitmiseks. Projekti tellijapoolse info kohaselt on trafo võimeline toitma vähemalt 4 hõõglampi ning omab 24V väljundit, seega saab sama trafot kasutada automaatika toitmiseks. Neid andmeid teades arvutatakse teadaolev trafo maksimaalne väljundvool 24V toite tarvis.

Trafo 24V maksimaalse väljundvool:

$$I_{24MAX} = \frac{I_L * U_{12VAC}}{U_{24VAC}} = \frac{10A * 12VAC}{24VAC} = 5A, \quad (17.1)$$

kus I_{24MAX} on teadaolev maksimaalne trafo väljundvool 24VAC toite puhul, A;

I_L – valgustuse pool tarbiatav vool, ühtlasi ka vool, mida saab kasutada 24V toite tarvis, $I_L = 10A$;

U_{12VAC} – hõõglampide toitepinge, $U_{12VAC} = 12VAC$;

U_{24VAC} – 24VAC trafo väljund automaatika toiteks.

3.3.2. Kilbi kontrollerr

Kilbi kontrollerr ([Lisa 4](#), lk 2...4) on seade, mis juhib elektrkilbis tehtavaid automaatika jõululitusi, olles juhitud nii keskseadme kui sauna puldi poolt. Samuti teostab kilbi kontrollerr 24VAC pinge alandamist automaatika toitmiseks ning analüüsib rikkekонтроlli andmeid.

3.3.2.1. Kilbi kontrolleri juhtseade

Kilbi kontrolleri tööd juhib ATmega164 mikrokontrollerr. Mikrokontrolleri valiku analüüs ja ühendusviisid on selgitatud peatükis [3.2.2.1. Sauna puldi juhtseade](#).

3.3.2.2. Kilbi kontrolleri RS-485 standardi andmesideseade

Kilbi kontrolleri RS-485 standardi kohane andmeedastusseade töötab sama moodi ja on mikrokontrolleriga ühendatud samal viisil nagu kirjeldatud peatükis [3.2.2.4. Sauna puldi RS-485 standardi andmesideseade](#).

Kilbi kontrollerris asuv RS-485 andmesideseade kasutab standardi omadust, mis lubab ühel andmeedastussiinil kasutada kuni 256-e andmeedastusseadet, seeläbi vähendades kasutatavate seadmete hulka ning muutes edastatavad andmed kättesaadavaks kõikidele seadmetele. Sellise lähenemisviisi puhul ei ole tarvilik siinkohal kasutada andmeedastus-keerdpaarjuhtmete näivtakistusega võrdset takistit väljundviikude vahel.[2]

RS-485 standardi andmeside edastamiseks ja vastuvõtmiseks kasutatakse terminali tähistusega J6.

3.3.2.3. Rikkesignaali tuvastus

Rikkesignaali tuvastamiseks kasutatakse MAX6818 seadet. Rikkesignaali ühendusviis MAX6818 seadmega on kirjeldatud peatükis [3.1.3.1. Andurite ja lülite signaali pinge piiramine](#). Rikkesignaali vastuvõtmiseks kasutatakse terminali tähistusega J4.

3.3.2.4. Tagasiühilduvus-nupplülit

Tagasiühilduvusrežiimi aktiveerimises kasutatakse nupplülitit ([Lisa 4](#), lk 2), mis juhib elektrikilbis tehtavaid jõulülitusi. Lülituse teostamiseks valiti nupplülit AV1921E624Q04 (S1), mis on samasugune nagu eelnevalt kasutatud nupplülid. Kõik nupplülitussignaalid juhitakse läbi kilbi kontrolleri trükkplaadi, seeläbi muutes kilbi kontrolleri komplekteerimise hiljem lihtsamaks. Nupplülituse signaali vastuvõtmiseks kasutatakse terminali tähistusega J1 ning signaali edasisaatmiseks terminali tähistusega J6.

3.3.2.5. Kerise ja põrandakütete PWM signaali juhtimine

Sauna kerist ja põrandakütteid juhitakse PWM signaali kasutades, nii on võimalik stabiilselt hoida kütteseadmete soovitud saavutatavat temperatuuri. PWM signaali loob ATmega164 mikrokontroller vastavalt sauna puldist saabuvatele andmetele.

Elektrikilbis asuvaid SSR seadmeid, mis kasutavad 24V toitepinget, juhitakse N-tüüpi MOSFET-itega. MOSFETi ühendusviis seda juhtiva seadmega on selgitatud peatükis [3.1.3.4. Häiresireeni rele](#). MOSFET-it juhitakse mikrokontrollerist, kasutades PWM võimekust omavaid viike (OC0A, OC0B, OC1A) [26, lk 92, 108]. 24V signaali väljundamiseks elektrikilpi kasutatakse terminali tähistusega J6.

3.3.2.6. Boileri ja soojuspumba jõulülitused

Kilbi kontrolleri teostab automaatika poolt juhitud boileri ja soojuspumba jõulülitusi. Tehtavad jõulülitused ühendatakse elektrikilbis viisil, mis on kirjeldatud peatükis [3.3.1.4. Boileri ja soojuspumba tagasiühilduvus jõulülitused](#). Jõulülitust teostav skeem on sarnane peatükis [3.1.3.4. Häiresireeni relee](#) kirjeldatuga. Boileri ja soojuspumba jõulülitusi juhitakse trükkplaadile ja sellest elektrikilpi läbi terminalide tähistustega J2 ja J3.

3.3.3. Kilbi kontrolleri – toiteplokk

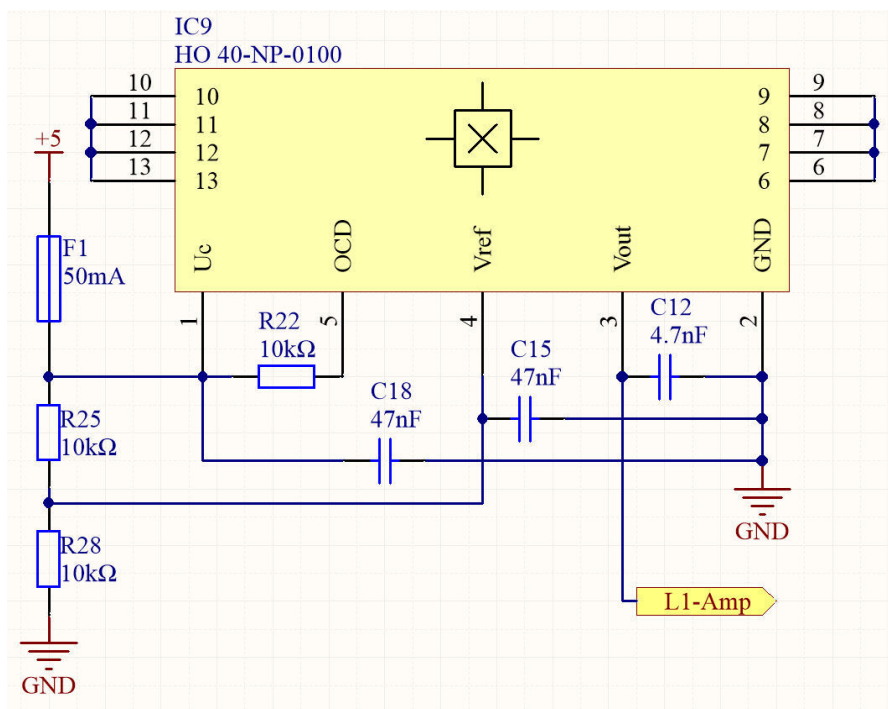
Kilbi kontrolleri asuv toiteploki jagu on osa kilbi kontrolleri trükkplaadist. Toiteploki jao ülesanne on alandada 24VAC pinget, teostada aku laadimist, toita kilbi kontrolleri ja kontrollida kerise kütteelementide töökorrasust.

3.3.3.1. Kerise kütteelementide kontroll

Kerise kütteelemendid on seadmed, mis kerise töötamise tagajärjel aeg-ajalt läbi põlevad. Õigeaegsete hooldustööde planeerimiseks on kasulik teada töötavate ja läbi põlenud kütteelementide hulka. Töötavate ja läbipõlenud kütteelemendi hulga teadasaamiseks otsustati kasutada kaudse mõõtmise meetodit, mõõtes voolu kerist toitvates jõukaablites. Kõige lihtsama meetodina voolu mõõtmiseks juhtmetes on mõõta elektromagnetvälja juhtme ümber.

Teades, et kerise voolutarve faasi kohta on 34,786A (15.1), osutus kaabli elektromagnetvälja mõõtmiseks sobilikuks seadmeks HO 40-NP-0100. Skeemis kasutatakse kolme valitud komponenti, iga mõõdetava faasi jaoks üks andur. Tegu on

Võrreldes seadme andmelehel kirjeldatud anduri ühendamist väliste komponentidega [39, lk 13], on kilbi kontrollis oleval skeemil (joonis 3.16.) mõned lisakomponendid ja ühendused, tagamaks anduri korrektse töö ning kaitstes ülejäänud seadmeid trükkplaadil.



Soovitud 40A mõõtmiseks ühendatakse anduri mähised, mis on väljatoodud viikudel 6...13, viisil, mis on esitatud andmelehel [39, lk 11]. Viik „Vref“ on ühendatud läbi pingejaguri (R25, R28), tekitades viigule baaspinge 2.5V, mis on tootja poolt ette kirjutatud suurus [39, lk 10].

$$R_{25} = \frac{R_{28} * U_5}{U_{2.5}} - R_{28} = \frac{10k\Omega * 5V}{2.5V} - 10k\Omega = 10k\Omega, \quad (18.1)$$

$U_5 = 5V$ toitepinge, $U_5 = 5V$;

$U_{2.5} - 2.5V$ baaspinge, $U_{2.5} = 2.5V$.

Voolutundliku anduri toitepinge viik ja analoogväljund on eraldatud kasutades 50mA-st sulavkaitset, kaitsmaks trükkplaati anduri võimaliku rikke korral. Arvestades anduri maksimaalset voolutarvet, 25mA [39, lk 4], osutub 50mA sulavkaitse piisavaks. Anduri analoogväljund ühendatakse läbi sulavkaitsme otse mikrokontrolleri väljundisse. Sellist lähenemist lubab teadmine, et mõõdetava voolu muutuse korral muutub analoogväljundi pinge vahemikus 0V...2V [39, lk 4].

3.3.3.2. Kilbi kontrolleri toide

Kilbi kontrolleri toiteelemendi tarviliku väljundvoolu leidmiseks arvutatakse kõik kilbi kontrolleri elektrit tarbivate seadmete summaarne voolutarve:

$$\begin{aligned} I_{KK} &= (I_{AT} + I_{IC1} + I_{IC1R} * Z_{M_8} + I_{IC2} + I_{K1} * Z_K + I_{Hall} * Z_{Hall}) + PT = \quad (19.1) \\ &= (200mA + 0.02mA + 0.103mA * 8 + 0.3mA + 80mA + 2 + 25mA * 3) + 1.2 \approx \\ &\approx 333mA, \end{aligned}$$

kus I_{KK} on kilbi kontrolleri summaarne voolutarve 5V ahelas, A;

I_{AT} – ATmega164-e maksimaalne voolutarve, $I_{AT} = 200mA$ [26, lk 318, pt 28];

I_{IC1} – MAX6818 toitevool, $I_{IC1} = 0.02mA$ [13, lk 2];

I_{IC1R} – MAX6818 ühe sisendviigu voolutarve maandatult, $I_{IC1R} = 0.103mA$ (4.1);

Z_{M_8} – keskseadme MX6818 sisendviikude arv, $Z_{M_8} = 8$.

I_{IC2} – RS-485 seadme voolutarve, $I_{IC2} = 0.3mA$;

I_{K1} – relee mähise voolutarve, 80mA (6.1);

Z_K – releede arv, $Z_K = 2$;

I_{Hall} – Hall'i anduri voolutarve, $I_{Hall} = 25mA$ [39, lk 4];

Z_{Hall} – andurite arv, $Z_{Hall} = 3$;

PT – parandustegur, $PT = 1.2$ [21, lk 327].

Arvutatud voolutarbe järgi valiti kilbi kontrolleri toitevaks seadmeks pingeregulaator LM2594M-5.0. Valitud pingeregulaatori väljundvoolu võimekus on 500mA. Pingeregulaatoriga juhtmete abil ühendatud komponendid ja nende ühendusviis on samad, mis on märgitud seadme andmelehel.[40, lk 1]

Kilbi kontrolleri voolutarve 24V pinge ahelas:

$$I_{24KK} = \frac{\frac{U_5 \cdot I_{KK}}{V_{24}}}{\eta_{KK}} = \frac{\frac{5V \cdot 333.293mA}{24V}}{0.80} \approx 87mA, \quad (19.2)$$

kus I_{24KK} on kilbi kontrolleri 5V toiteelemendi voolutarve 24V ahelas, A;

U_5 – 5V toitepinge, $U_5 = 5V$;

U_{24} – 24V toitepinge, $U_{24} = 24V$;

I_{KK} – keskseadme vool 5V pinge korral, $I_{KK} = 333.293$ (19.1);

η_{KK} – LM2592HVS-5.0/NOPB pingeregulaatori kasutegur, $\eta_{KK} = 80\%$ [40, lk 5].

3.3.3.3. Akulaadija

Valitud 24V akupanga laadimiseks kasutatakse kolme astmelist laadimistsükli, võimaldades laadida happeakut viisil, mis ei põhjusta aku ülelaadimist [41]. Kirjeldatud laadimistsükli kontrollivaks seadmeks osutus toode UC2906DWG4. Tegu on happeaku laadimistsükli reguleeriva seadmega, mis võimaldab välise skeemi abil kontrollida laadimisvoolu ja -pinget iga kolme tsükli puhul [42].

Aku laadimist reguleeriva seadmega on ühendatud laadimisvoolu ja -pinget reguleeriv väline skeem, mis on etteantud seadme andmelehel [42, lk 4, joonis 1]. Seadmega ühendatud komponentide väärtus arvutatakse vastavalt laadimisvoolu ja -pingete vajadustele. Samuti kuulub aku laadimisskeemi hulka toitepinget juhtiv skeem, mida juhib kilbi kontrolleri mikrokontroller.

Maksimaalse võimaliku laadimisvoolu leidmiseks arvutatakse täielik automaatika voolutarve ning lahutatakse trafo maksimaalsest võimekusest:

$$I_{AL} = I_{24MAX} - I_{24B} + I_{24A5} + I_{24KK} = 5A - 2.398A - 0.392A - 0.087A = 2.123A, \quad (20.1)$$

kus I_{AL} on maksimaalne võimalik aku laadimisvool, A;

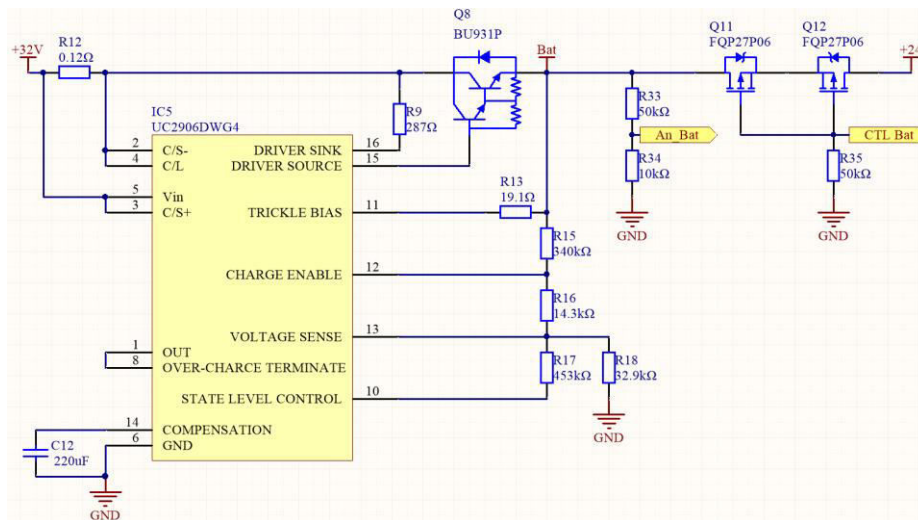
I_{24MAX} – teadaolev maksimaalne trafo väljundvool 24VAC toite puhul, $I_{24MAX} = 5A$ (17.1);

I_{24B} – keskseadme maksimaalne voolutarve 24V ahelas, $I_{24B} = 2.398A$ (7.5);

I_{24A5} – sauna puldi 5V toiteelemendi voolutarve 24V ahelas, $I_{24A5} = 0.392A$ (14.2);

I_{24KK} – kilbi kontrolleri 5V toiteelemendi väljundvool 24V ahelas, $I_{24KK} = 0.087A$ (19.2);

Arvutatud tulemuse põhjal valitakse maksimaalseks aku laadimisvooluks $I_{AL} = 2A$. Teades, et aku mahtuvus on 180Ah, on 2A-ga laadimine sobiv. Üldjuhul laetakse akut vooluga, mis on 25% aku mahtuvusest [41]. Madalama vooluga laadimine on küll aeglasem, kuid tagab akule rohkemad laadimistsüklid. Laadimiseseadme välise skeemi (joonis 3.17.) arvutamisel lähtutakse andmelehe ettekirjutistest [42, lk 5, joonis 2] ja seadme rakendusjuhendist [43, lk 9, joonis 12].



Joonis 3.17. Aku laadija ([Lisa 4](#), lk 4)

Takisti R18 arvutus, takisti voolutarbeks valiti 0.07mA [42, lk 5, joonis 2]:

$$R18 = \frac{2.3V}{I_D} = \frac{2.3V}{0.07mA} = 32.9k\Omega, \quad (21.1)$$

kus R18 on akulaadija takisti R18 väärtus, kΩ;

I_D – aku laadimisskeemi läbiv vool, $I_D = 0.07mA$.

Arvutatud väärtusega takisti ei ole laialt levinud, takisti suuruseks valiti $33k\Omega$, sellisel juhul $I_D = 0.0697mA$.

Takisti R15 ja R16 summa arvutus [42, lk 5, joonis 2]:

$$R_{15} + R_{16} = R_{Sum} = \frac{U_F - 2.3V}{I_D} = \frac{27V - 2.3V}{0.0697mA} \approx 454k\Omega, \quad (21.2)$$

kus R_{Sum} on takistite R15 ja R16 summaarne väärtus, $k\Omega$;

U_F – laadija teise tsükli hoitav pinge, $U_F = 27V$ (41);

I_D – aku laadimisskeemi läbiv vool, $I_D = 0.07mA$.

Takisti R17 väärtus [42, lk 5, joonis 2]:

$$R_{17} = \frac{2.3V * R_{Sum}}{U_{OC} - U_F} = \frac{2.3V * 454k\Omega}{28.8V - 27V} \approx 452k\Omega, \quad (21.3)$$

kus R_{17} on aku laadija takisti R17 väärtus, $k\Omega$

R_{Sum} – takistite R15 ja R16 summaarne väärtus, $R_{Sum} = 454k\Omega$;

U_{OC} – aku laadimispinge, $U_{OC} = 28.8V$ [41];

U_F – laadija teise tsükli hoitav pinge, $U_F = 27V$ [41].

Arvutatud väärtusega takisti ei ole laialt levinud, takisti suuruseks valiti $453k\Omega$.

Takisti R15 väärtus [42, lk 5, joonis 2]:

$$R_{15} = \left(R_{Sum} + \frac{R_{18} * R_{17}}{R_{18} + R_{17}} \right) * \left(1 - \frac{2.3V}{U_T} \right) =$$

$$= \left(354k\Omega + \frac{33k\Omega * 453k\Omega}{33k\Omega + 453k\Omega} \right) * \left(1 - \frac{2.3V}{20V} \right) \approx 340k\Omega, \quad (21.4)$$

kus R_{15} on aku laadi takisti R15 väärtus, $k\Omega$;

R_{Sum} – takistite R15 ja R16 summaarne väärtus, $R_{Sum} = 454k\Omega$;

R_{17} – akulaadija takisti R17 väärtus, $R_{17} = 453k\Omega$;

R_{18} – akulaadija takisti R18 väärtus, $R_{18} = 33k\Omega$;

U_T – valitud aku pinge, millest alustatakse laadimis tsükli, $U_T = 20V$.

Takisti R16 väärtus [42, lk 5, joonis 2]:

$$R_{16} = R_{Sum} - R_{15} = 354k\Omega - 340k\Omega = 14.4k\Omega, \quad (21.5)$$

kus R16 on akulaadija takisti R16 väärtus, k Ω ;

R_{Sum} – takistite R15 ja R16 summaarne väärtus, R_{Sum} = 354k Ω ;

R15 – aku laadi takisti R15 väärtus, R15 = 340k Ω .

Arvutatud väärtusega takisti ei ole laialt levinud, takisti suuruseks valiti 14.3k Ω .

Takisti R12 väärtus [42, lk 5, joonis 2]:

$$R12 = \frac{0.25V}{I_{AL}} = \frac{0.25V}{2A} = 0.125\Omega, \quad (21.6)$$

kus R12 on aku laadija takisti R12 väärtus, Ω ;

I_{AL} – maksimaalne võimalik aku laadimisvool, I_{AL} = 2A.

Arvutatud väärtusega takisti ei ole laialt levinud, takisti suuruseks valiti 0.12 Ω , seega I_{AL} = 2.08A.

Takisti R13 väärtus [42, lk 5, joonis 2]:

$$R13 = \frac{U_{32}-U_T-2.5V}{I_T} = \frac{32V-20V-2.5V}{0.5A} = 19\Omega, \quad (21.7)$$

kus R13 on akulaadija takisti R13 väärtus, Ω ;

U₃₂ – valitud akulaadija toitepinge, U₃₂ = 32V;

U_T – valitud aku pinge, millest alustatakse laadimistsükli, U_T = 20V;

I_T – vool, millega alustatakse aku laadimist, I_T = 0.5A.

Arvutatud väärtusega takisti ei ole laialt levinud, takisti suuruseks valiti 19.1 Ω .

Laadimiseks kasutatavat 32V pinget juhitakse NPN-transistori, mis suudab laadimis pinget läbi lasta läbilaskevõimega [44, lk 5, joonis 2]. Selleks osutus valituks seade BU931P. Valitud transistor ühendatakse laadimisseadmega nagu märgitud laadimisseadme rakendus-andmelehel [43, lk 9, joonis 12]. Transistori juhtimiseks baasivoolu määramiseks arvutatakse väärtus andmelehe soovitude kohaselt [43, lk 9, joonis 12].

Takisti R9 väärtus [43, lk 9, joonis 12]:

$$R9 = \frac{U_{32}-U_{OC}-1.2V}{I_{AL}} * \beta_{300} = \frac{32V-28.8V-1.2V}{2.08} * 300 = 288.5\Omega, \quad (21.8)$$

kus R_9 on transistori baasiga ühendatud takisti, Ω ;
 U_{32} – valitud akulaadija toitepinge, $U_{32} = 32V$;
 U_{OC} – aku laadimispinge, $U_{OC} = 28.8V$ [41];
 I_{AL} – maksimaalne võimalik aku laadimisvool, $I_{AL} = 2.08A$;
 β_{300} – transistori minimaalne võimendustegur, $\beta_{300} = 300$ [44, lk5, joonis 4].

Arvutatud väärtusega takisti ei ole laialt levinud, takisti suuruseks valiti 287Ω .

Laetud reservtoiteallikas lülitatakse automaatikaga kasutades komponente $R_{33} \dots R_{35}$, Q_{11} ja Q_{12} . Lülitusskeemi juhib kilbi kontrolleri mikrokontroller, mõõtes analoogsisendiga aku pinget, ning lülitades MOSFET-eid. Analoogsisend mõõdab aku pinget läbi pingejaguri, mille takistite väärtuste arvutamiseks on sisendpingeks valitud $30V$ ja väljundpingeks $5V$. Pingejaguri maandatud takisti R_{34} väärtuseks valiti $10k\Omega$.

Pingejaguri pingestatud takisti R_{33} väärtus:

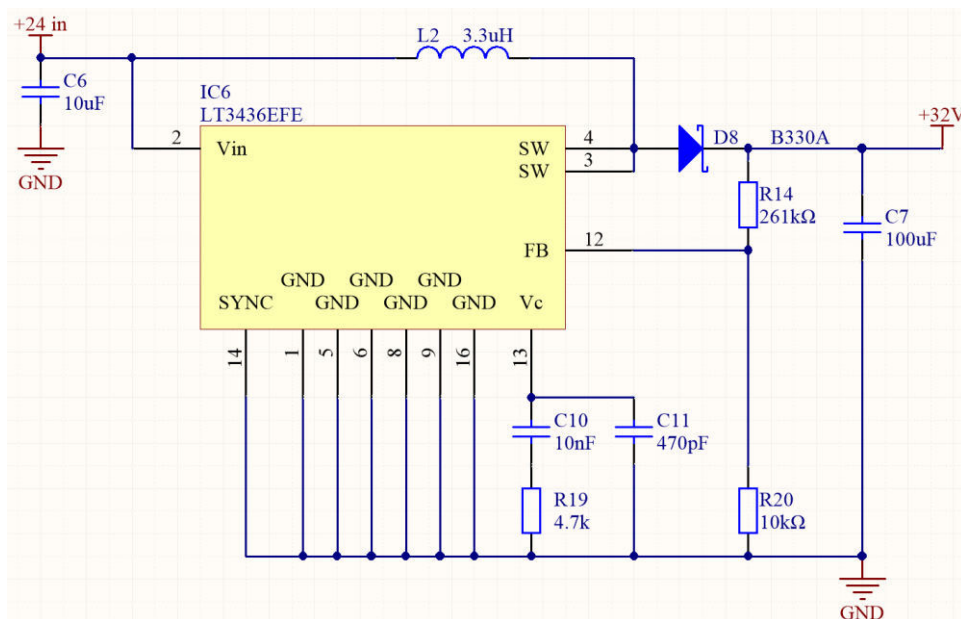
$$R_{33} = \frac{R_{34} \cdot U_{30}}{U_5} - R_{34} = \frac{10k\Omega \cdot 30V}{5V} - 10k\Omega = 50k\Omega, \quad (21.9)$$

kus R_{33} on reservtoiteallika pinget mõõtva pingejaguri pingestatud takisti, $k\Omega$;
 R_{34} – reservtoiteallika pinget mõõtva pingejaguri maandatud takisti, $R_{34} = 10k\Omega$;
 U_{30} – reservtoiteallika pingejaguri kõrgeim sisendpinge, $U_{30} = 30V$;
 U_5 – reservtoiteallika pingejaguri väljundpinge, $U_5 = 5V$.

Mõõdetud pinge alusel teostab mikrokontroller lülituse, lülitades ühiste lätetega P-tüüpi MOSFET-e. Selline ühendusviis tagab voolu mõlemasuunalise lülituse, mis üht MOSFET-i kasutades ei ole võimalik seadme sisese tagasivooludiodi olemasolu tõttu. Samuti on MOSFET-ite paisud maandatud läbi takisti R_{35} , tagamaks seadmete avatud oleku olukorras, kui automaatikale ei ole veel toidet järgi ühendatud. Skeemi osutus parimaks MOSFET toode FQ27P06, lubades lülitada tarvilikku automaatika toitepinget $2.398A$ (7.5) $24V$ juures [44, lk 5, joonis 9].

3.3.3.4. Aku laadimispinge reguleerimine

Eelnevalt kirjeldatud 28.8V laadimispinge saamiseks 24V-st kasutatakse pinget tõstvat seadet. Teades, et seadme väljundvool peab olema vähemalt 2A, osutus sobilikuks seadmeks komponent LT3436EFE, mille väljundvool küündib 3A-ni. Seadme ühendusskeemi (joonis 3.18.) loomisel on lähtutud andmelehe ettekirjutistest [45; lk 1, 6].



Joonis 3.18. Aku laadimispinge regulaator ([Lisa 4](#), lk 4)

Vastavalt vajalikule väljundpingele ja –voolule arvutatakse seadmega ühendatud komponentide väärtused vastavalt andmelehe ettekirjutistele. [45, lk 6]

Takisti R14 väärtus teades, et $R20 = 10k\Omega$:

$$R14 = \frac{R20 * (U_{32} - 1.2V)}{1.2V - R20 * 0.2\mu A} = \frac{10k\Omega * (32V - 1.2V)}{1.2V - 10k\Omega * 0.2\mu A} \approx 257k\Omega, \quad (22.1)$$

kus R14 on laadimispinget reguleeriva seadme takisti R14 väärtus, Ω ;

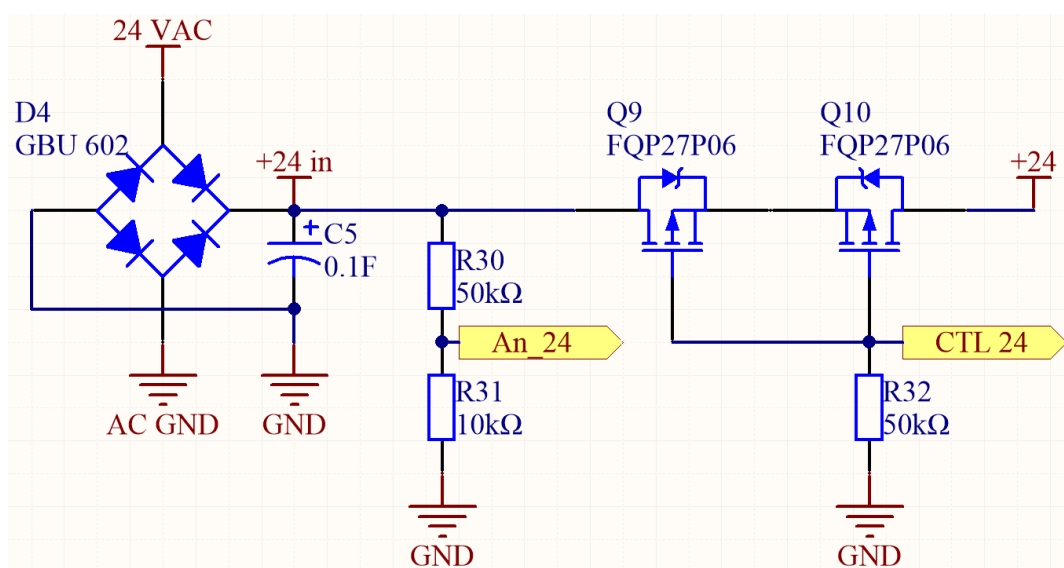
R20 – laadimispinget reguleeriva seadme takisti R20 väärtus, $R20 = 10k\Omega$;

U_{32} – valitud akulaadija toitepinge, $U_{32} = 32V$.

Arvutatud väärtusega takisti ei ole laialt levinud, takisti suuruseks valiti 261k Ω .

3.3.3.5. Alaldi

Trafost väljundatav 24VAC pingeline alaldatakse 24V alalpingeks dioodsilla GBU 602 abil. Dioodsild valiti lähtuvalt trafo maksimaalsest 5A väljundvoolust – dioodsild on võimeline alaldama kuni 6A voolu 100V pingeline juures [46, lk 1]. Alaldatud pingeline silumiseks kasutatakse kondensaatorit, mille väärtuse arvutamisel lähtutakse trafo maksimaalsest väljundvoolust 24V toitele. Alaldi maksimaalseks lubatud pingekõikumiseks valiti 0.5V. (joonis 3.19.)



Joonis 3.19. Alaldi (Lisa 4, lk 4)

Alaldi pinget siluv kondensaatori C5 väärtus [47]:

$$C5 = \frac{\frac{I_{24MAX}}{U_{0.5}}}{2 * f_{50}} = \frac{\frac{5A}{0.5V}}{2 * 50Hz} = 0.1F, \quad (23.1)$$

kus C5 on alaldi pinget siluva kondensaator väärtus, F;

I_{24MAX} – teadaolev maksimaalne trafo väljundvool 24VAC toite puhul, $I_{24MAX} = 5A$;

$U_{0.5}$ – maksimaalne lubatud 24V pingekõikumine, $U_{0.5} = 0.5V$;

f_{50} – vahelduvvoolu sagedus, $f_{50} = 50Hz$.

Alaldiga on ühendatud toidet automaatikasse lülitav skeem, mis on sarnane peatükis 3.3.3.3. [Aku laadija](#) kirjeldatud skeemile. Mõlemad skeeme lülitatakse vastavalt nende ahelapingele, eelistatud on toide alaldiskeemi ahelast.

KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli luua hooneautomaatika elektriskeemid Iru Saun hoonele. Töö loomisel lähtuti projekti tellija nõuetest loodavale süsteemile, mille alusel töötati välja sobiv üldstruktuur automaatikale. Loodud üldstruktuuri alusel jaotati töö eraldi osadeks, kus arendati struktuuri erinevate osade elektriskeemid ja trükkplaadid. Arendamisel lähtuti tööstusautomaatikas standarditest, seeläbi lihtsustades seadmete ühilduvust üksteisega.

Lõputöö täitis praktilist eesmärgi, mille abil luuakse hooneautomaatika lahendus Iru Sauna. Loodud hooneautomaatika elektriskeemide alusel komplekteeritakse trükkplaadid ning soetatakse komponendid automaatika koostamiseks. Lisaks luuakse loodud skeemide alusel automaatikat juhtiv programm ning mehhaaniline disain, seeläbi muutes loodud töö sisu täies mahus rakendatavaks.

Hooneautomaatika elektriskeemide arendamine andis töö autorile kogemusi ja teadmisi elektroonika ja automaatika vallas, mis ei oleks omandatud loodud automaatika lahendust tellides täislahendusena spetsialistidelt.

SUMMARY

The aim of this thesis was to create building automation electrical schematics for Iru Sauna building. The development was based on contractor's requirements for the system. Based on the requirements, solutions main structure was made. Each part of the main structure was developed and discussed. During the development, many industrial automation solutions were used to enhance systems flexibility.

The theses will be used to build automation solution for Iru Sauna. The work, which was done, will be used to make circuit boards and outfit the solution. Furthermore, automation programming will be done and mechanical design for each part of the main structure.

During the development of building automation electrical schematics, new knowledge and experiences were gained by the developer, which enhanced his overall understanding of electronics and automation.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. KNX (Standard). Wikipedia. [WWW] [https://en.wikipedia.org/wiki/KNX_\(standard\)](https://en.wikipedia.org/wiki/KNX_(standard)) (17.05.2017).
2. How far and how fast can you go with RS-485?. Maxim Integrated. [WWW] <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/3884> (17.05.2017).
3. hEX PoE lite. MikroTik. [WWW] https://www.eurodk.ee/files/catalogue/mikrotik/datasheet-hex_poe_lite.pdf (17.05.2017).
4. Subminiature basic switch. OMRON Corporation. [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/1702836.pdf> (17.05.2017).
5. ISO/IEC 7810. Wikipedia. [WWW] https://en.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC_7810 (17.05.2017).
6. General Purpose Input/Output pins on the Raspberry Pi. Raspberry Pi. [WWW] <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/gpio/README.md> (17.05.2017).
7. Nõuded tulekahju-signalisatsioonisüsteemidele. (vastu võetud 07.06.2002, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 01.01.2003). –Riigi Teataja [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/13122676> (17.05.2017).
8. Q01 Photoelectric smoke detector. Horing LIH Industriaal Co., Ltd. [WWW] <http://www.horinglih.com/q01.html> (17.05.2017).
9. Bravo 6 Dual PIR motion detector. Dicitel Security Controls Ltd. [WWW] cms.dsc.com/download.php?t=1&id=12180 (17.05.2017).
10. IPC-HDBW2421R-ZS/VFS. Dahua Technology. [WWW] <http://www.dahuasecurity.com/products/ipc-hdbw2421r-zsvfs-6161.html> (17.05.2017).
11. Miks Wi-Fi vahel sakib ja hakib?. ProIT. [WWW] <http://www.proit.ee/miks-wi-fi-vahel-sakib-ja-hakib/> (17.05.2017).

12. SXT 5. MikroTik. [WWW]
<https://www.eurodk.ee/files/catalogue/ubiquiti/datasheet-sxt-5.pdf> (17.05.2017).
13. MAX6816/MAX6817/MAX6818. Maxim Integrated. [WWW]
<http://www.farnell.com/datasheets/1730414.pdf> (17.05.2017).
14. 3.3V, GPIO and GND max current. Raspberry Pi. [WWW]
<https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?t=90390&p=634795>
(17.05.2017).
15. Low power RS-485/RS-422 transceiver. STMicroelectronics. [WWW]
<http://www.farnell.com/datasheets/1673568.pdf> (17.05.2017).
16. Implementing a variable-length Cat5e cable equalizer. Texas Instruments. [WWW]
<http://www.ti.com/lit/an/sboa125/sboa125.pdf> (17.05.2017).
17. Guidelines for proper wiring of an RS-485 (TIA/EIA-485-A) network. Maxim Integrated. [WWW]
<https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/763> (17.05.2017).
18. Power PCB relay OHI/OMIH. TE Connectivity. [WWW]
<http://www.farnell.com/datasheets/1558263.pdf> (17.05.2017).
19. Power MOSFET 200mA, 50V. ON Semiconductor. [WWW]
<http://www.farnell.com/datasheets/1596366.pdf> (17.05.2017).
20. Raspberry Pi universal power supply. Raspberry Pi. [WWW]
<https://www.raspberrypi.org/products/universal-power-supply/> (17.05.2017).
21. Masinaehitaja Käsiraamat esimene köide. (1968). Tallinn: Kirjastus „Valgus“.
/Koost. Prof. H. Lepikson. 688 lk.
22. LM2576/LM2576HV series simple switcher 3A step-down voltage regulator. Texas Instruments. [WWW]
<http://www.farnell.com/datasheets/1997614.pdf>
(17.05.2017).
23. LM1575/LM2575/LM2575HV simple switcher 1A step-down voltage regulator. Texas Instruments. [WWW]
<http://www.farnell.com/datasheets/1972807.pdf>
(17.05.2017).
24. When to use which battery. Victron Energy. [WWW]
<https://www.victronenergy.com/blog/2015/03/30/batteries-lithium-ion-vs-agm/>
(17.05.2017).
25. Anti-vandal switch 19mm moving ring LED. TE Connectivity. [WWW]
<http://www.farnell.com/datasheets/2054527.pdf> (17.05.2017).

26. 8-bit Atmel microcontroller with 16/32/64/128K bytes in-system programmable flash. Atmel. [WWW] http://www.atmel.com/images/Atmel-8272-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega164A_PA-324A_PA-644A_PA-1284_P_datasheet.pdf (17.05.2017).
27. 12mm size isolated shaft type. Alps. [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/1837002.pdf> (17.05.2017).
28. RC charging circuit. Electronics Tutorials. [WWW] http://www.electronics-tutorials.ws/rc/rc_1.html (17.05.2017).
29. TIPC6C595 power logic 8-bit shift register. Texas Instruments. [WWW] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tpic6c595.pdf> (17.05.2017).
30. 25.4mm (1.0 inch) single digit numeric display. Kingbright. [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/57132.pdf> (17.05.2017).
31. Driving 595 shift registers. Appelsiini. [WWW] <https://www.appelsiini.net/2012/driving-595-shift-registers> (17.05.2017).
32. Nickel temperature sensor with flat wires ND1K0.520.2FW.B.007. Innovative Sensor Technology. [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/1643986.pdf> (17.05.2017).
33. What ppm/K corresponds to?. Electrical Engineering. [WWW] <https://electronics.stackexchange.com/questions/146795/what-ppm-k-correspondes-to> (17.05.2017).
34. LM2592HV simple switcher power converter 150-kHz 2-A step-down voltage regulator. Texas Instruments. [WWW] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2592hv.pdf> (17.05.2017).
35. Product overview for machinery. (2016). Bonn: Eaton Corporation. 315 lk. (17.05.2017).
36. Solid state contactors for heaters G3PE-Three-phase. OMRON Corporation. [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/1470607.pdf> (17.05.2017).
37. Relay package RT. Tyco Electronics. [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/1717963.pdf> (17.05.2017).
38. Solid state relays for heaters G3PJ. OMRON Corporation. [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/2068132.pdf> (17.05.2017).
39. Current transducer HO-NP series. LEM. [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/2149997.pdf> (17.05.2017).

40. LM2594, LM2594HV simple swicher power converter 150-kHz 0.5-A step-down voltage regulaator. Texas Instruments. [WWW] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2594.pdf> (17.05.2017).
41. 24 volt charcer tutorial. ChargingCharcers. [WWW] <http://www.chargingchargers.com/tutorials/24-volt-charger.html> (17.05.2017).
42. Sealed lead.acid battary charcer. Texas Instruments. [WWW] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uc2906.pdf> (17.05.2017).
43. Improved charcing methods for acid-lead battaries using the UC3906. Texas Instruments. [WWW] <http://www.ti.com/lit/an/slual115/slual115.pdf> (17.05.2017).
44. High voltage ignition coil driver NPN power Darlington transistors. STMicroelectronics. [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/1689732.pdf> (17.05.2017).
45. 3A, 800kHz step-up swiching regulaator. Linear Technology. [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/1717054.pdf> (7.05.2017).
46. Single phase 6.0 amps. Glass passivated bridge rectifiers. Taiwan Semiconductor. [WWW] <http://www.farnell.com/datasheets/41665.pdf> (17.05.2017).
47. Full wave rectifier. Electronics Tutorials. [WWW] http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_6.html (17.05.2017).

LIHTLITSENTS

Mina, Karl-Marten Möttus,

sünniaeg 01.08.1994,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö „Iru Sauna hooneautomaatika elektriskeemide arendus“, mille juhendaja on Toivo Leola,
 - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, 24.05.2017

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Toivo Leola _____
(juhendaja nimi ja allkiri)

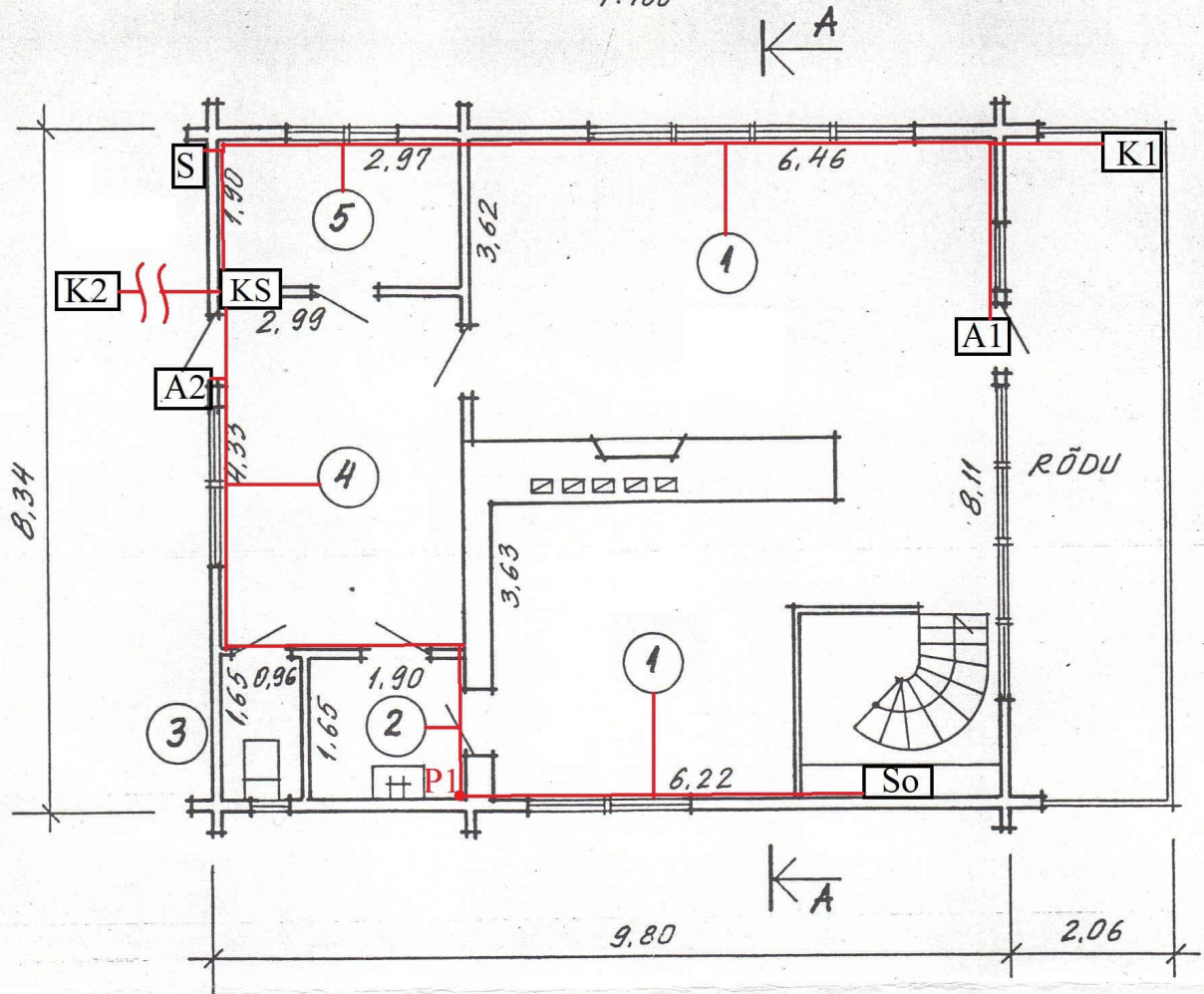
(kuupäev)

LISAD

LISA 1

PLAAN

1:100

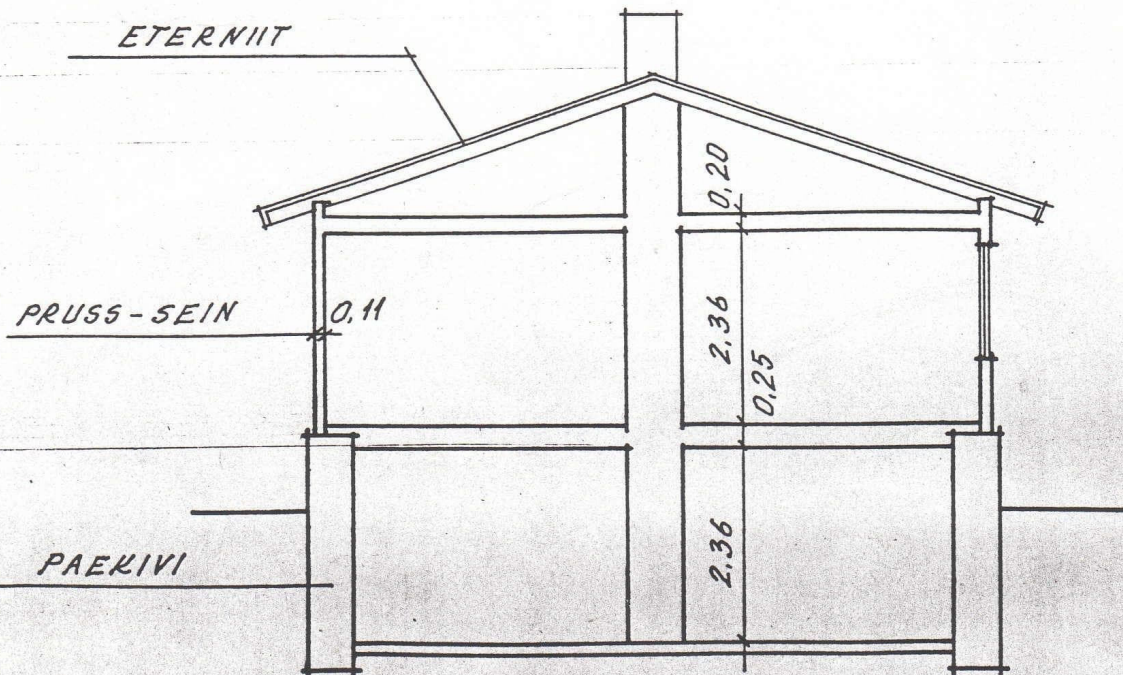


OTSAYAASE

1:100

LÖIGE A - A

1:100



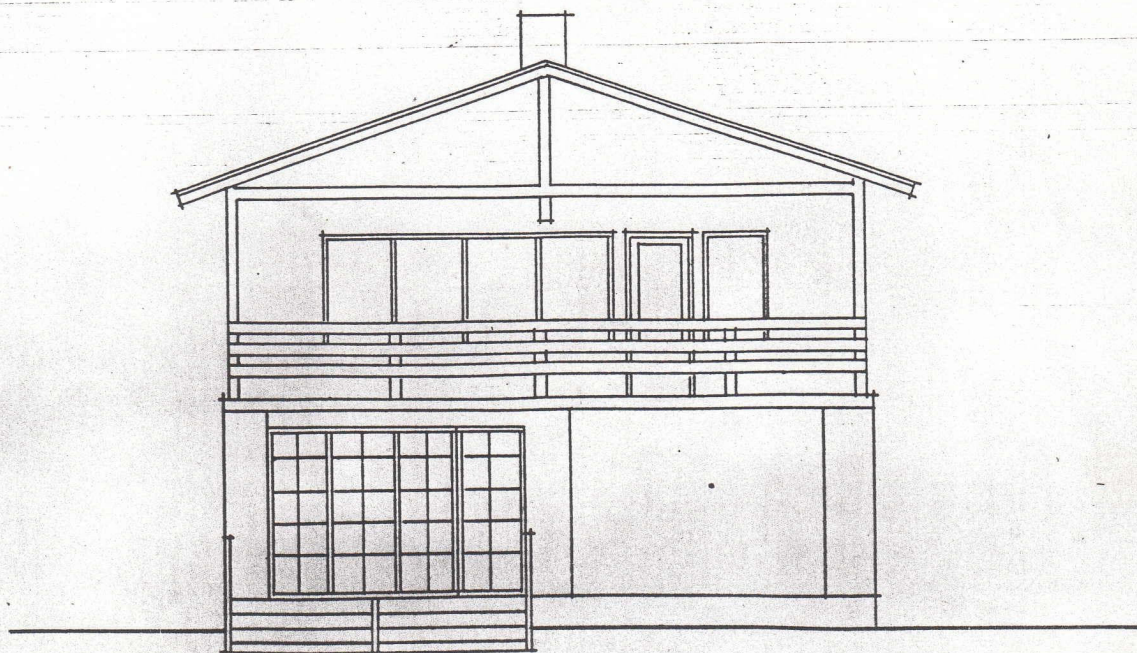
1:100

1:100



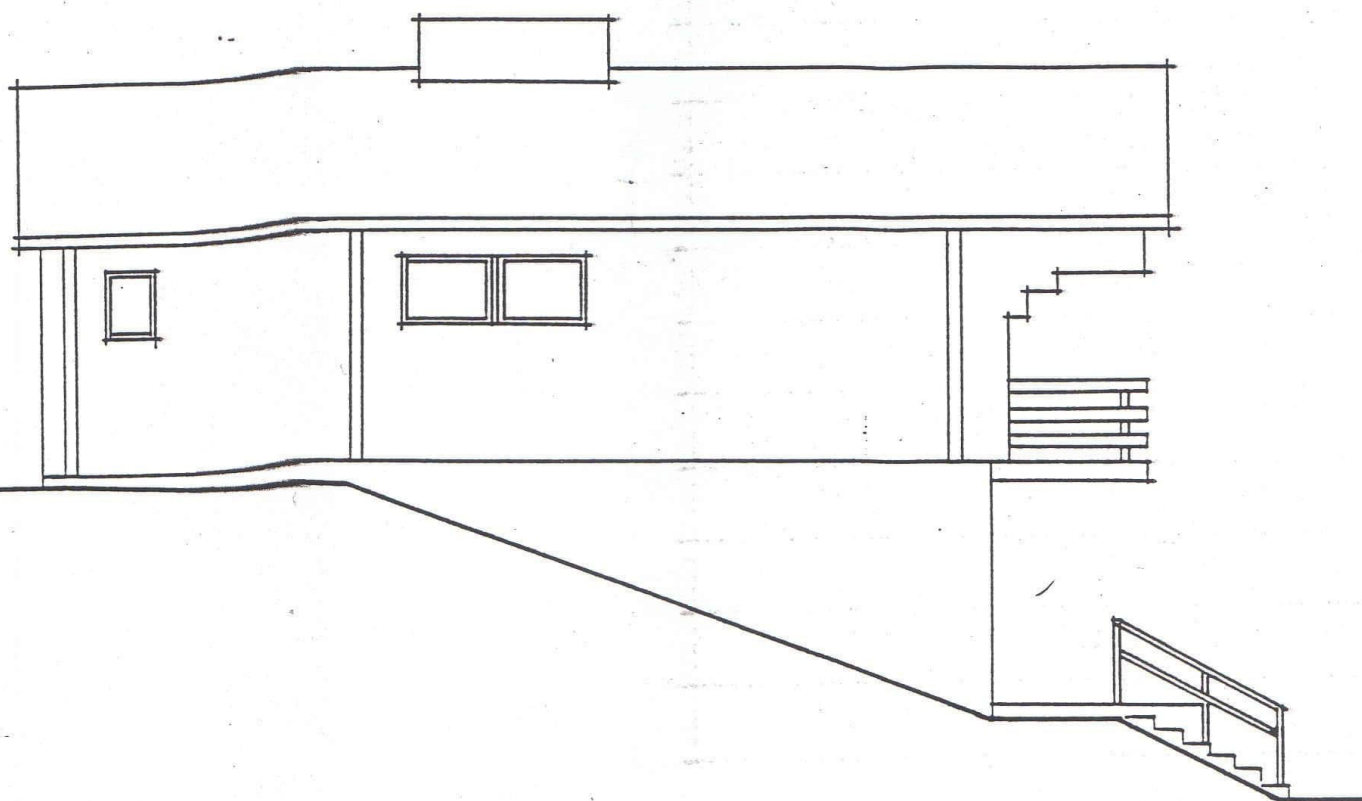
1:100

1:100



KÜLGVAADE

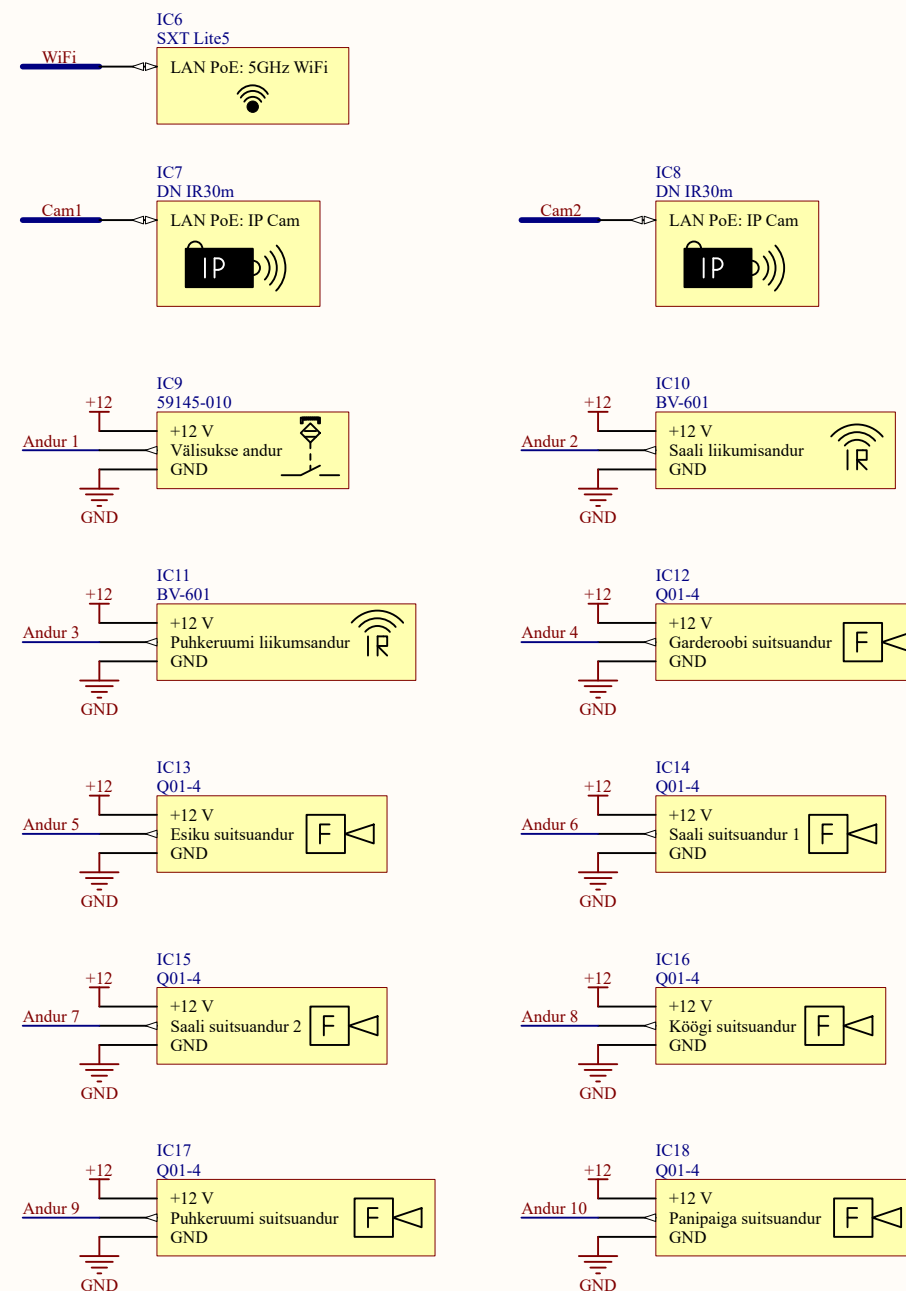
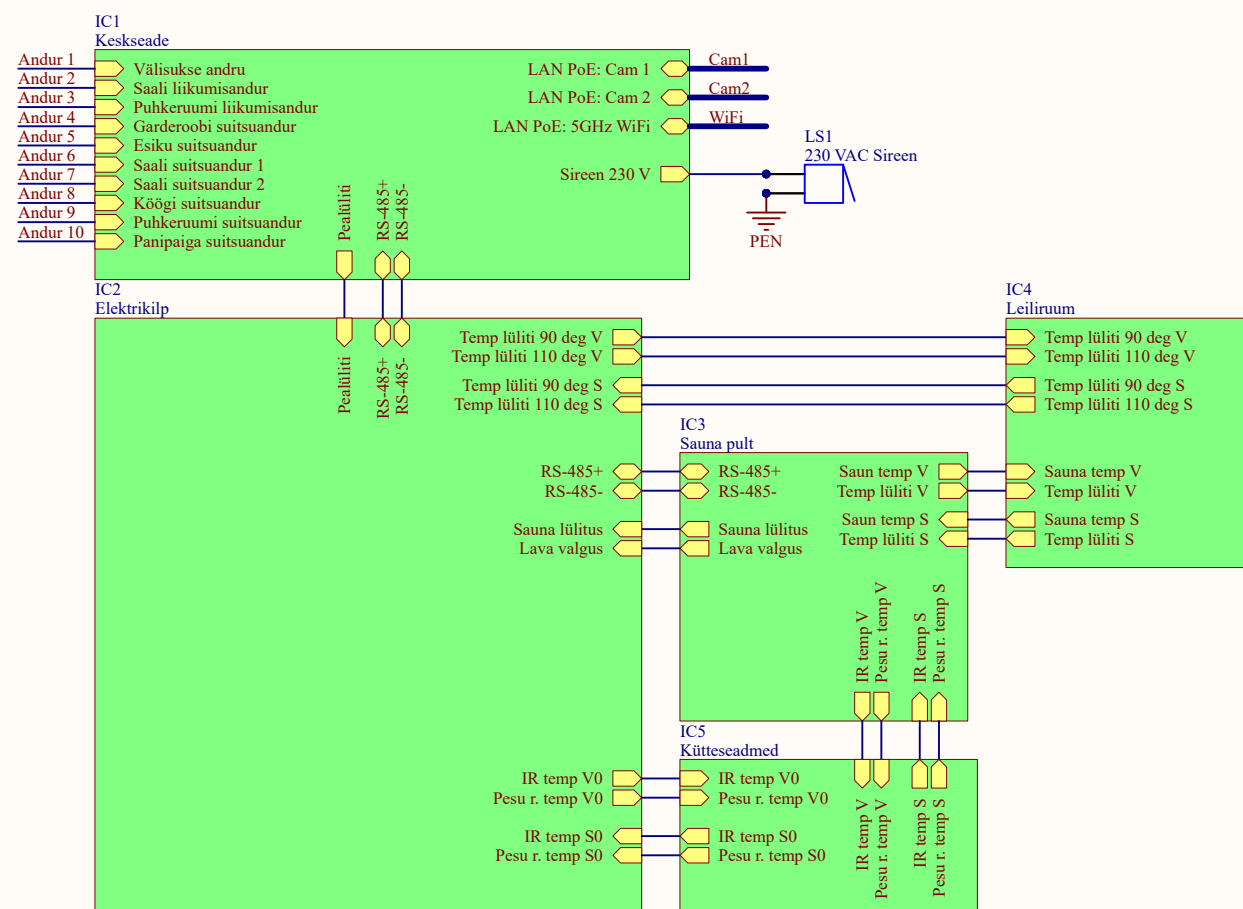
1:100




KORTERI NR.	RUUMI NR.	RUUMIDE NIMETUS	PINNA ARVUTAMISE AVALDIS	HOONE KOGUPIND M ²						MÄRKUSED
				KOGUPIND	SELLEST					
					ELU- RUUMIDE	ELAMIS	MITTEELU- RUUMID	KASULIK	TEENINDAV	
	1	PUHKERUUM	8,11×6,46 - 0,86×4,50 - - 0,24×3,63 - 2,44×1,87	43,1			43,1	43,1		
	2	KÖÖK	1,65×1,90	3,1			3,1	3,1		
	3	KÄIMLA	1,65×0,96	1,6			1,6	1,6		
	4	ESIK	4,33×2,99	12,9			12,9	12,9		
	5	GARDEROOB	1,90×2,97	5,6			5,6	5,6		
	6	PUHKERUUM	7,35×3,66 - 1,3×2,5 - 0,28×0,6 - - 1,02×3,14:2	21,9			21,9	21,9		
	7	PANIPAİK	3,40×3,08 - 0,20×0,30	10,4			10,4	10,4		
	8	LEILIRUUM	3,0×3,0	9,0			9,0	9,0		
	9	DUŠIRUUM	1,13×2,35	2,7			2,7	2,7		
			SAUNAS KOKKU:	110,3			110,3	110,3		

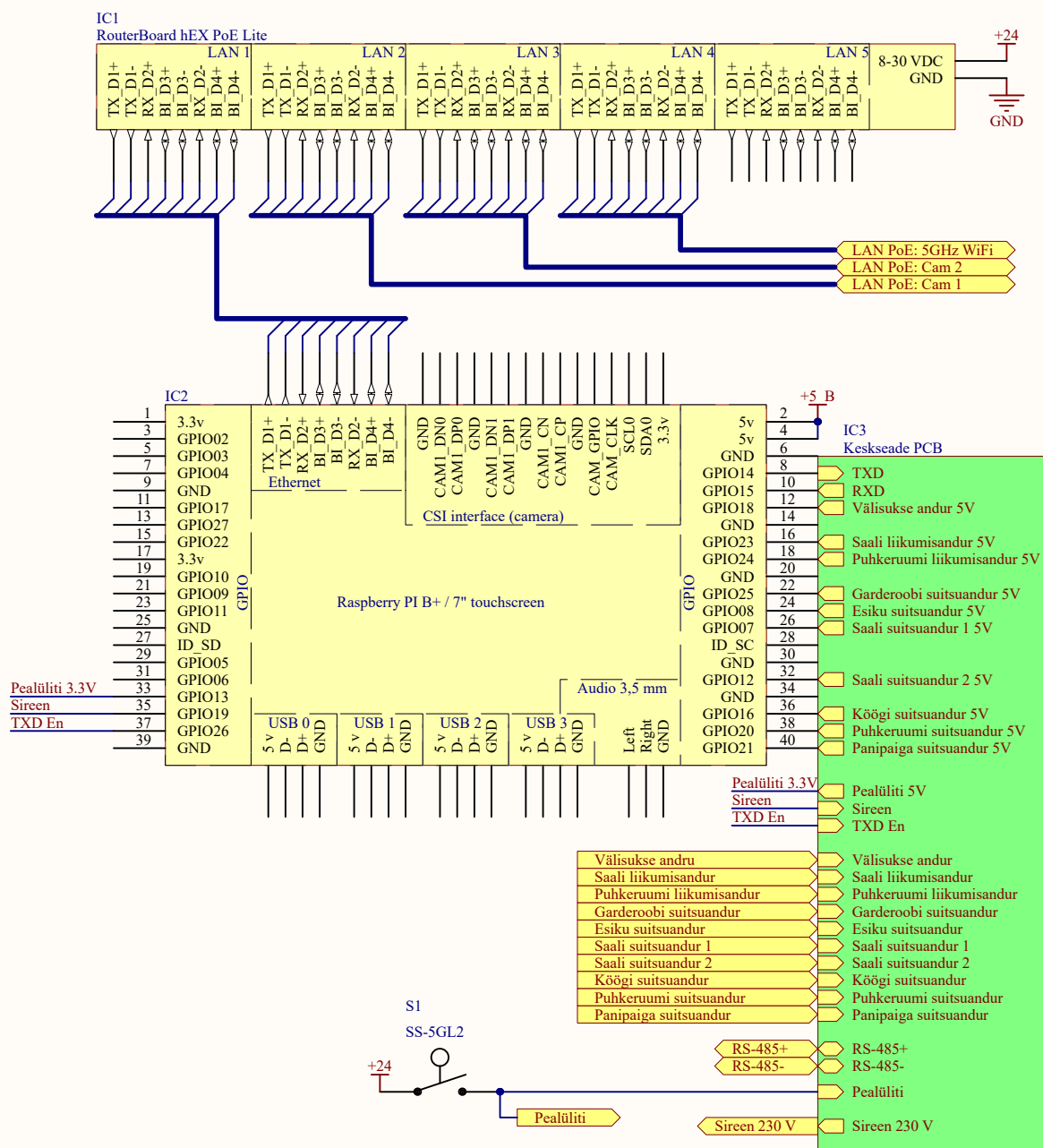


LISA 2

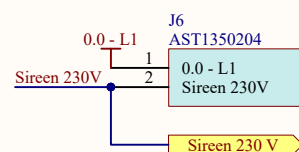
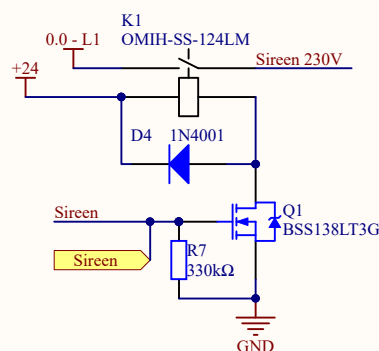
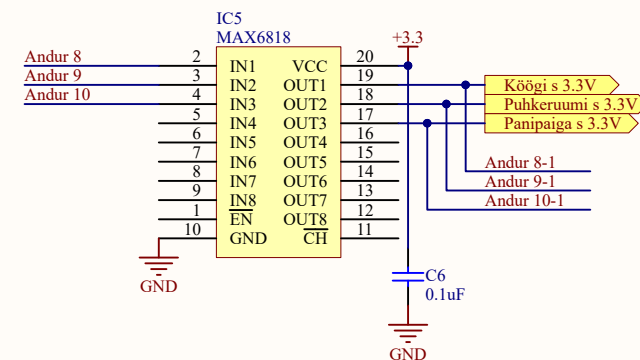
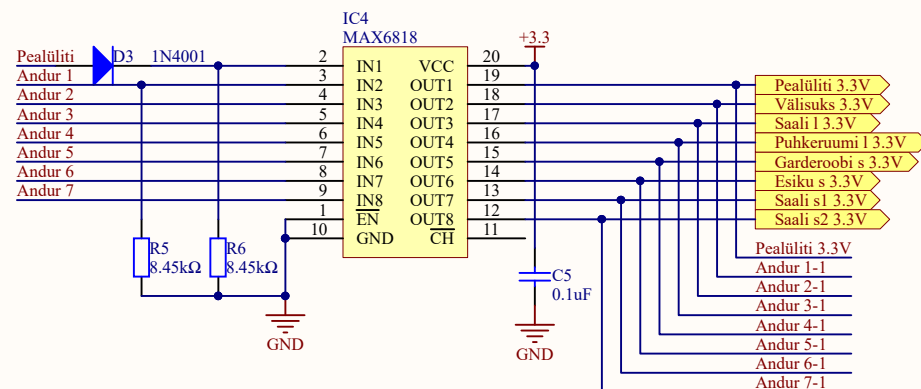
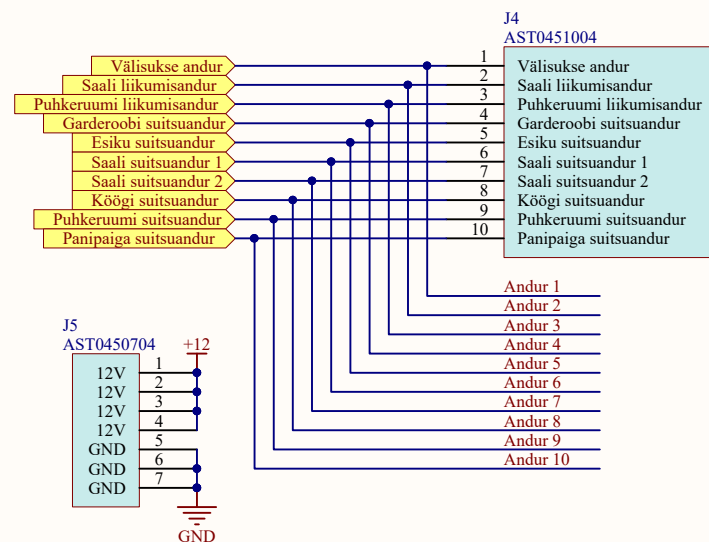
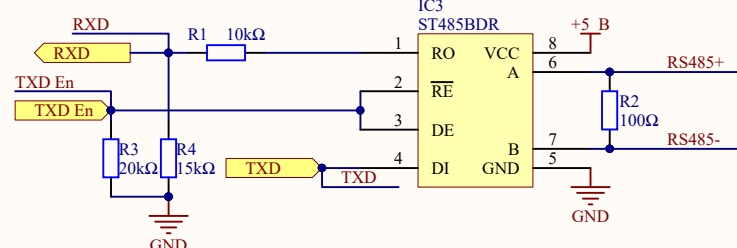
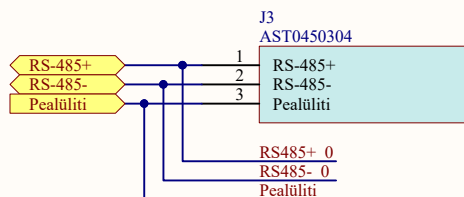
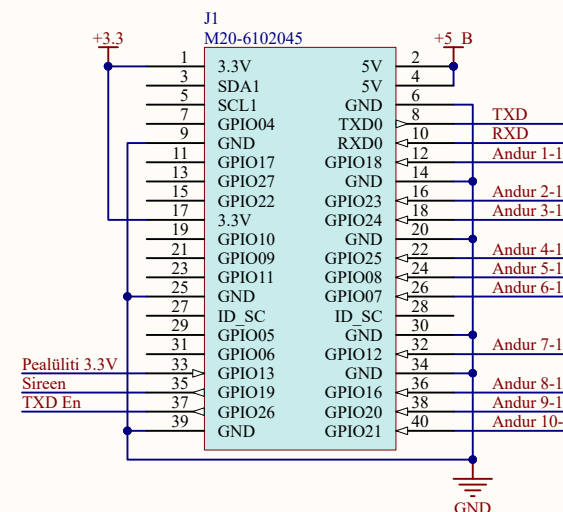
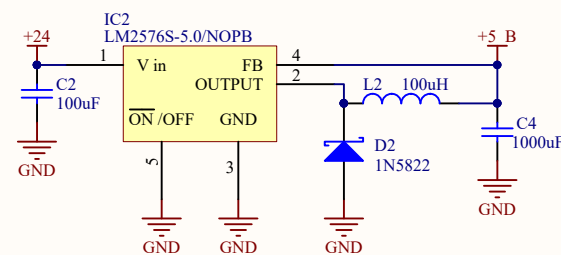
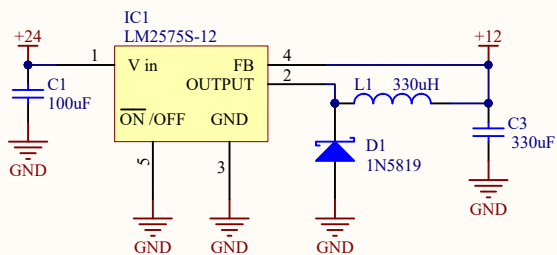
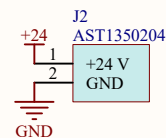


Tellija <i>Aivar Mõttus FIE</i>		Objekt, seade <i>Iru Saun</i>	
Teostas	<i>Karl-Marten Mõttus</i>	Nimetus: <i>Üldskeem</i>	
Kontrollis	<i>Toivo Leola</i>		
Kinnitas			
 Eesti Maaülikool Tehnikainstituut		Leht: <i>1/1</i>	Tähis: <i>TN 17/130248 2 01 00 S</i>

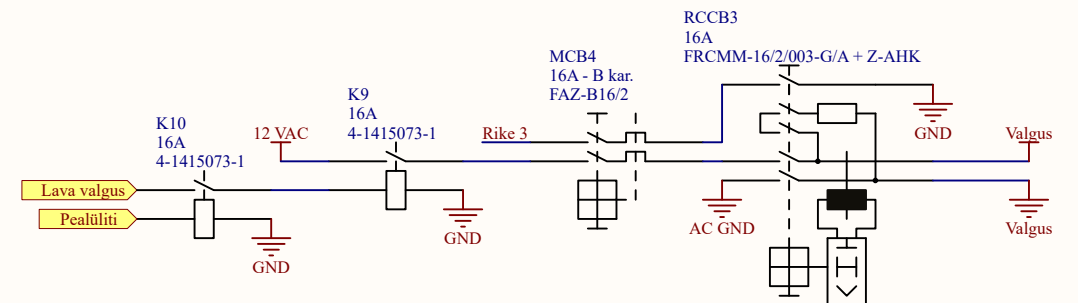
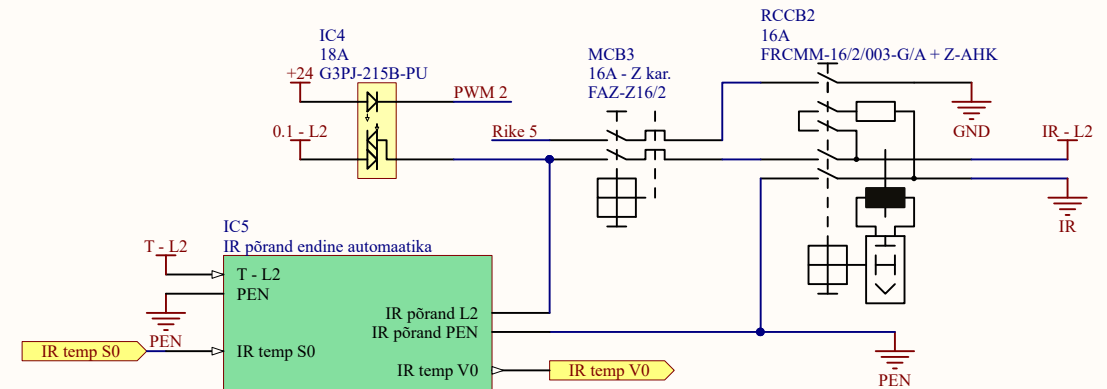
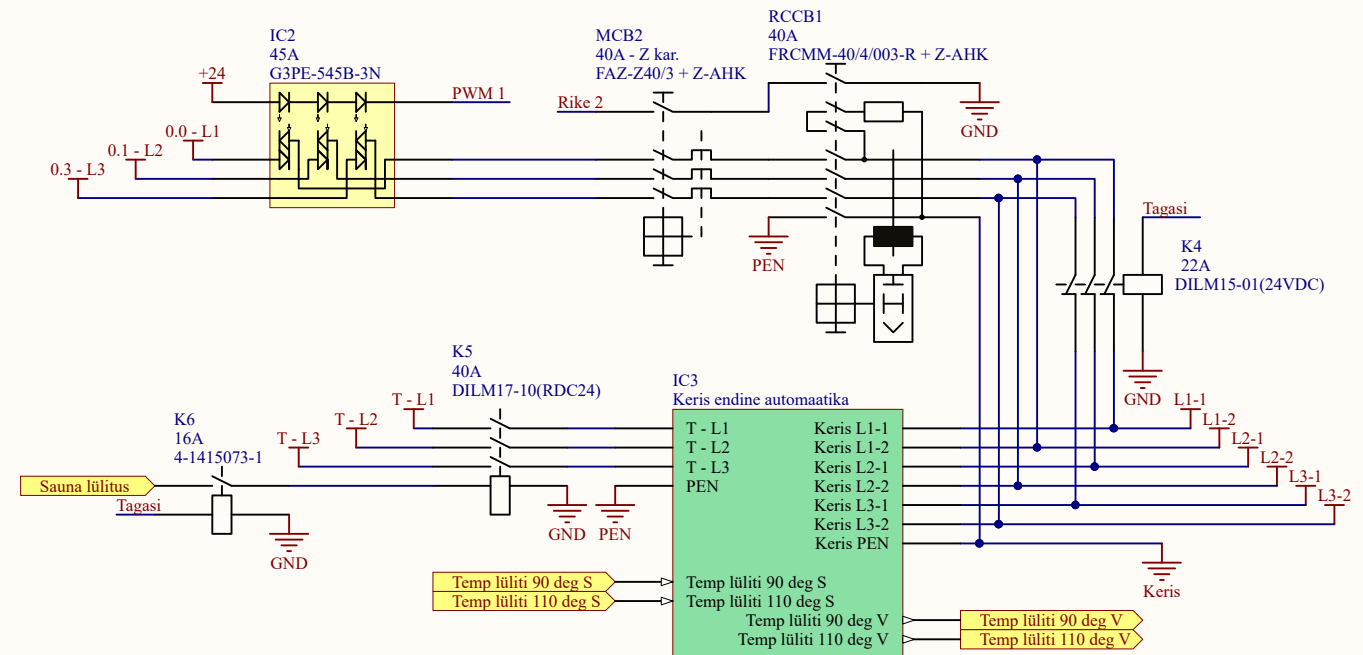
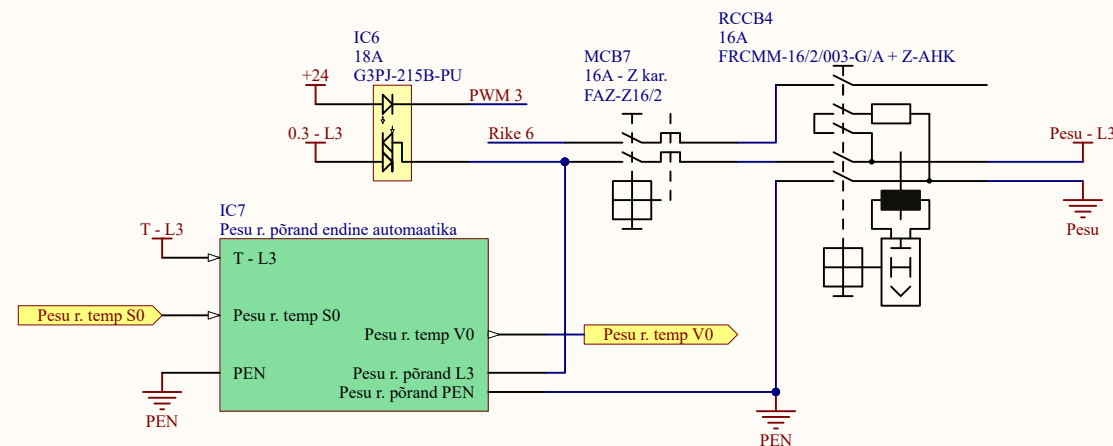
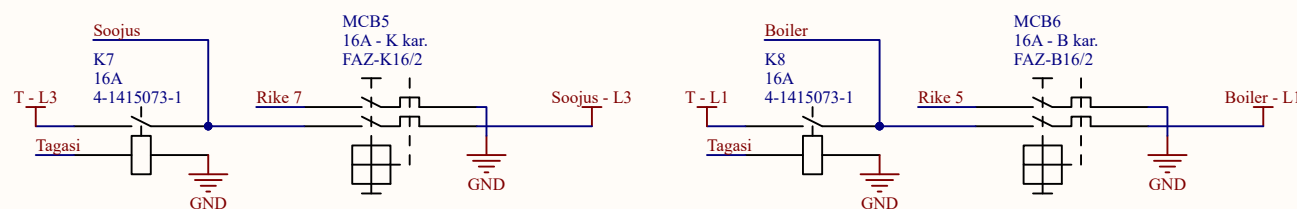
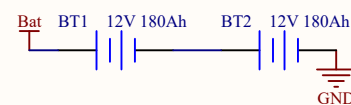
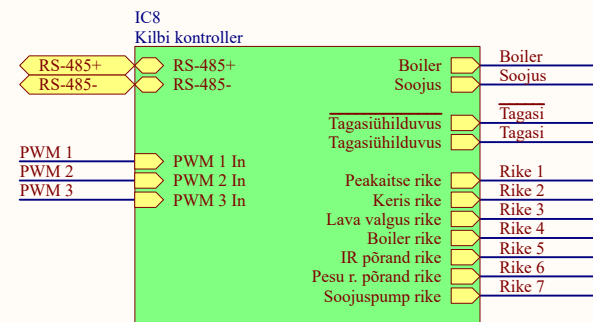
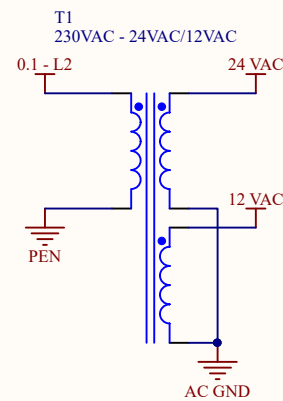
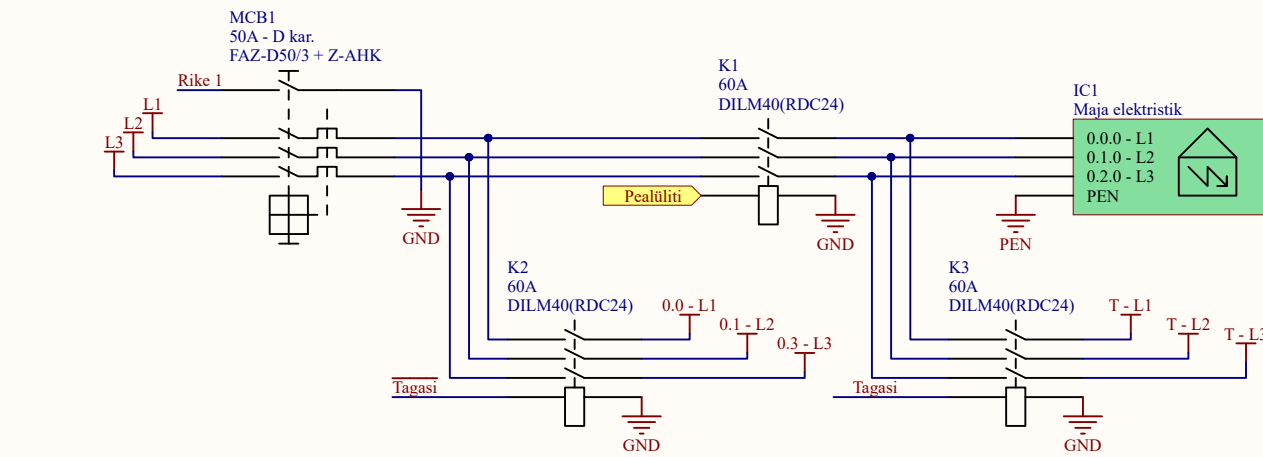
LISA 3




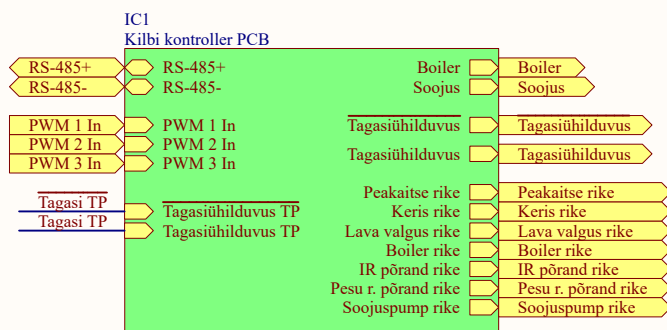
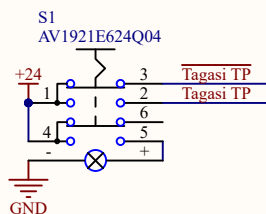
Tellija Aivar Mõttus FIE		Objekt, seade Iru Saun	
Teostas	Karl-Marten Mõttus	Nimetus: Keskseade	
Kontrollis	Toivo Leola		
Kinnitas			
		Leht: 1/1	Tähis: TN 17/130248 3 02 00 S




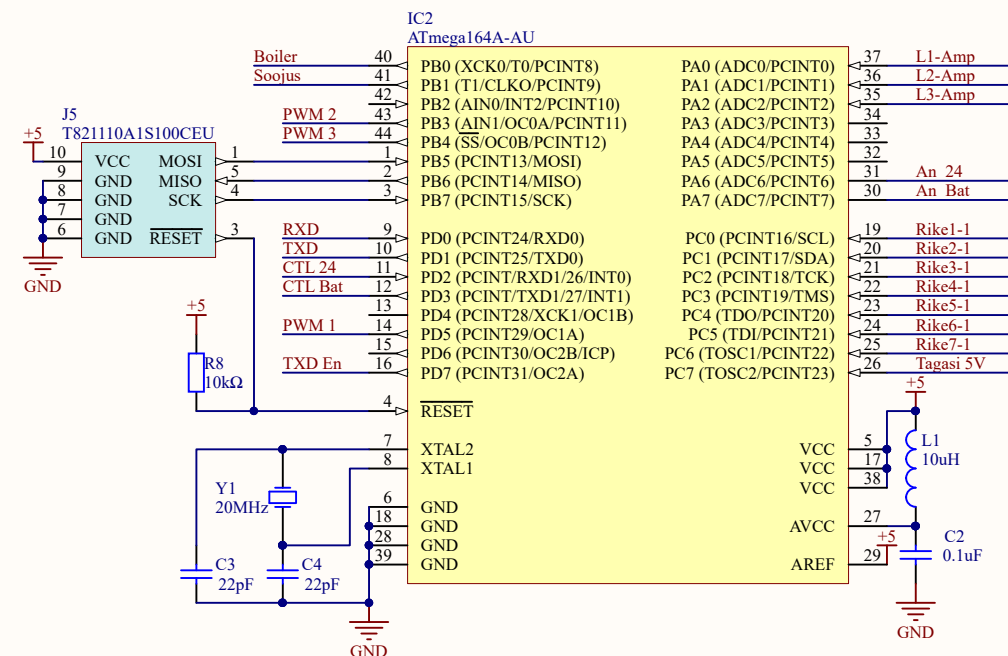
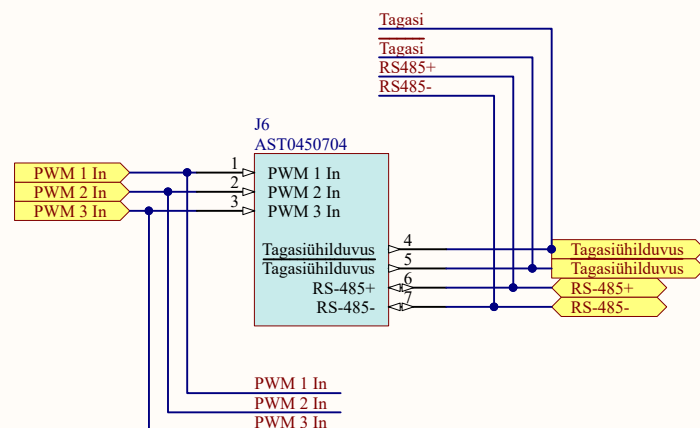
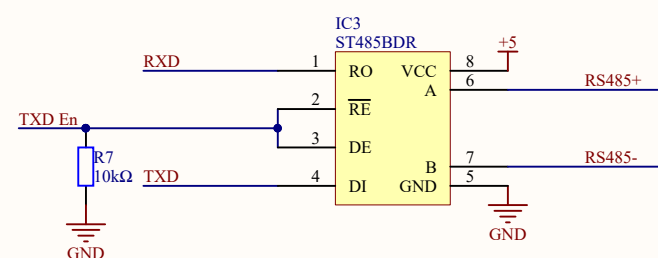
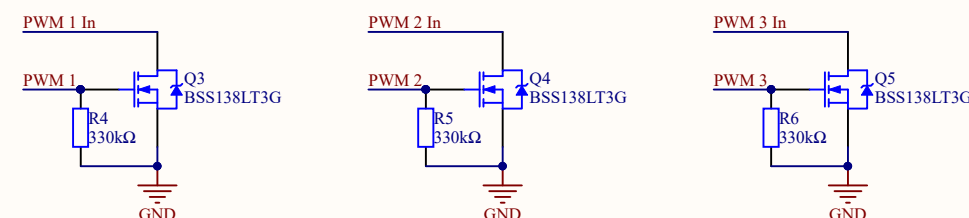
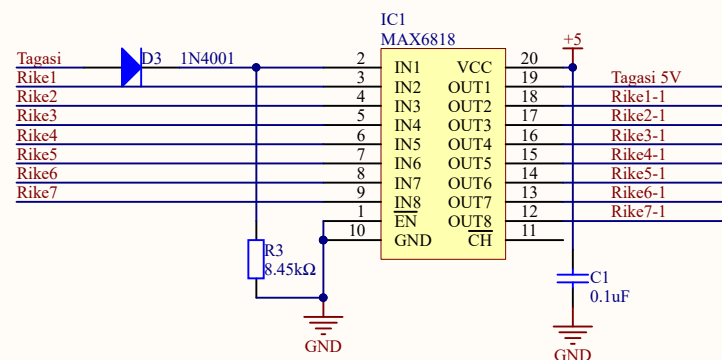
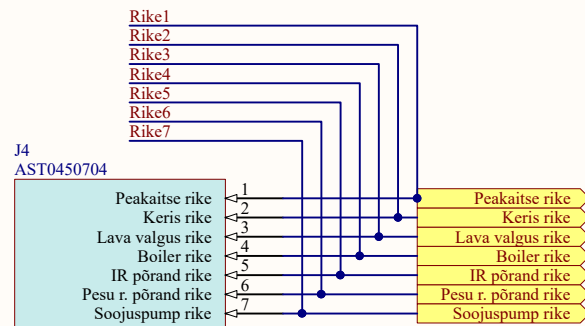
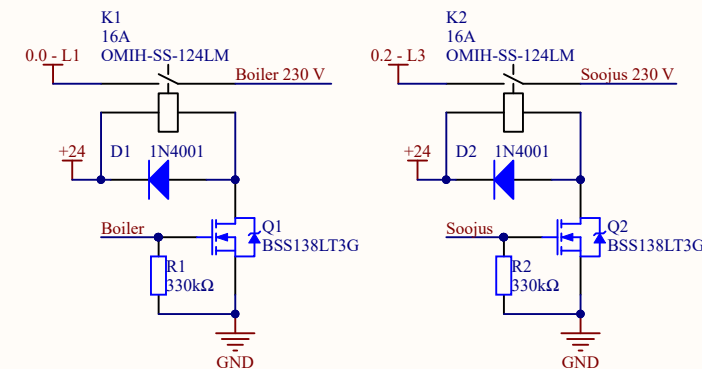
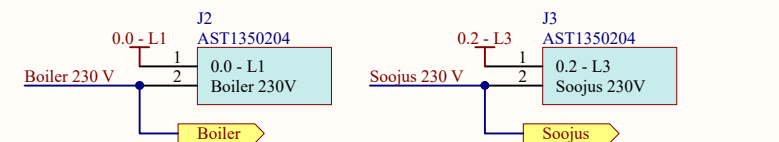
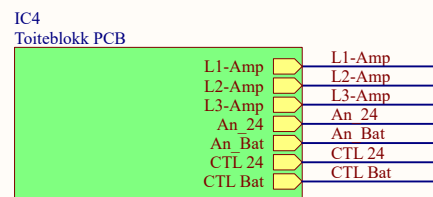
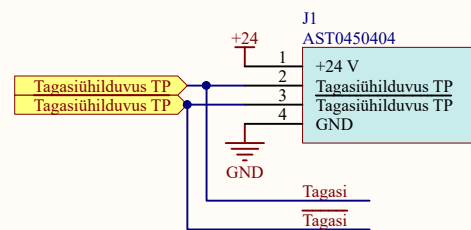
LISA 4



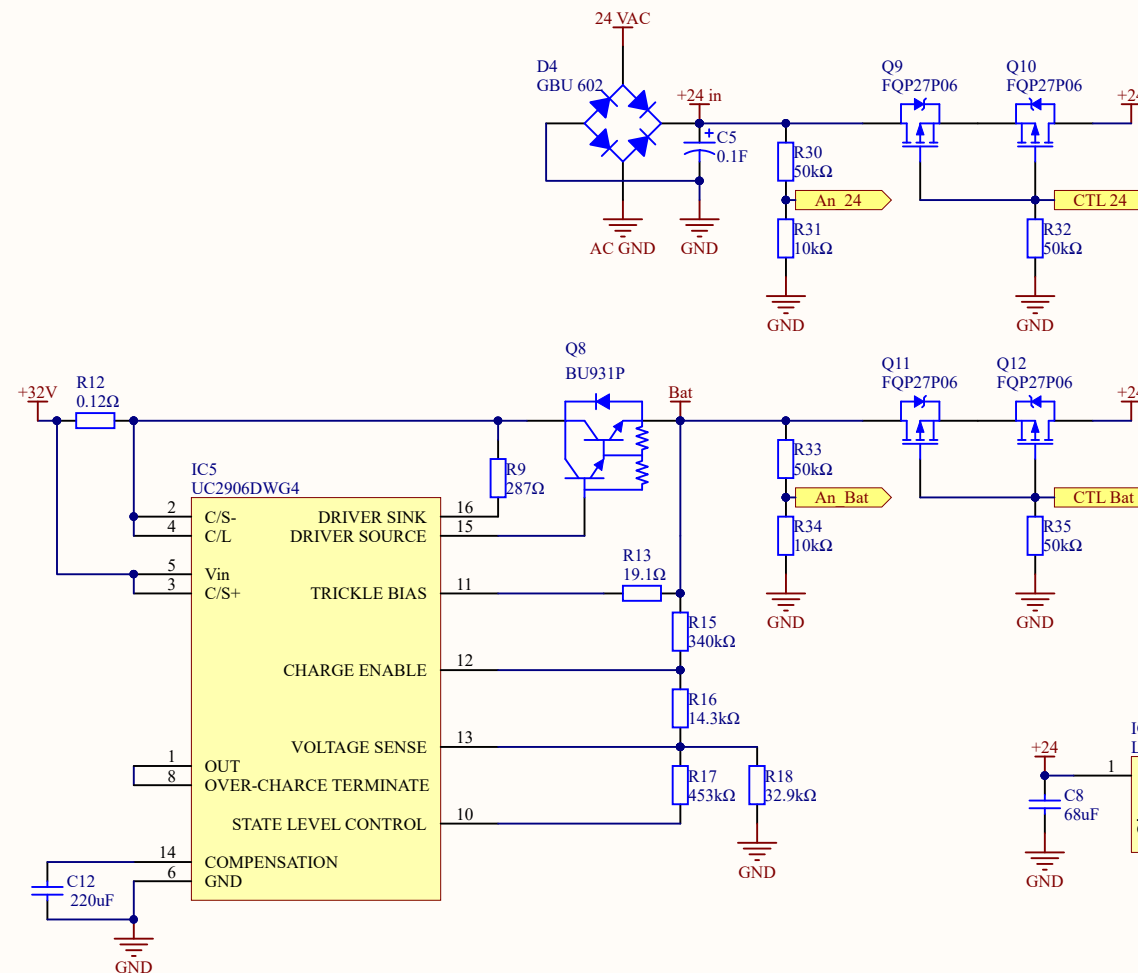
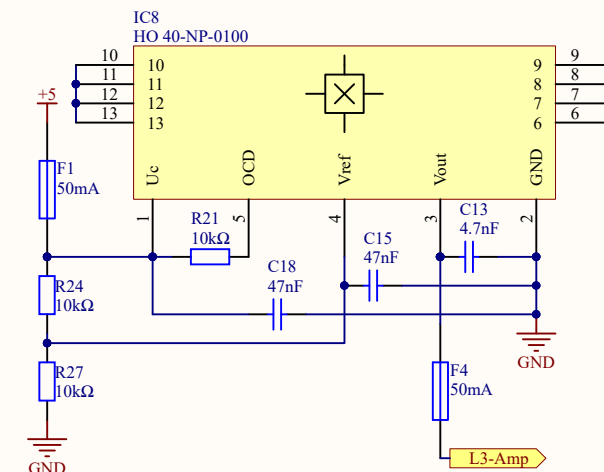
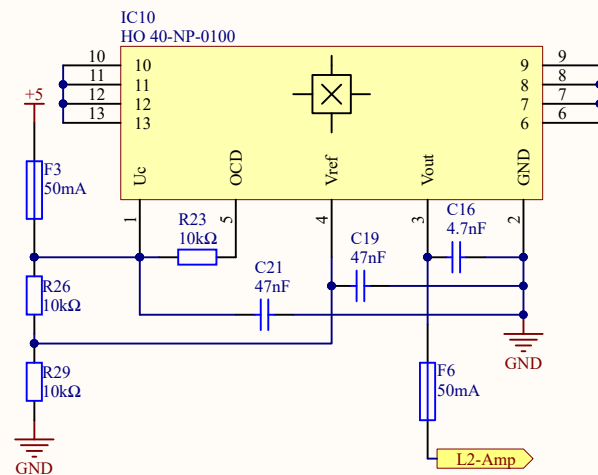
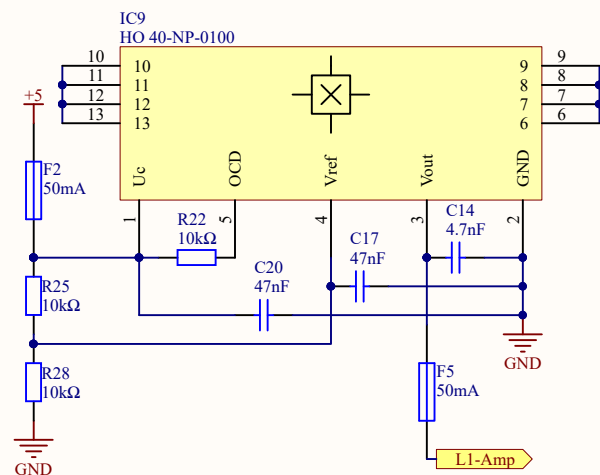
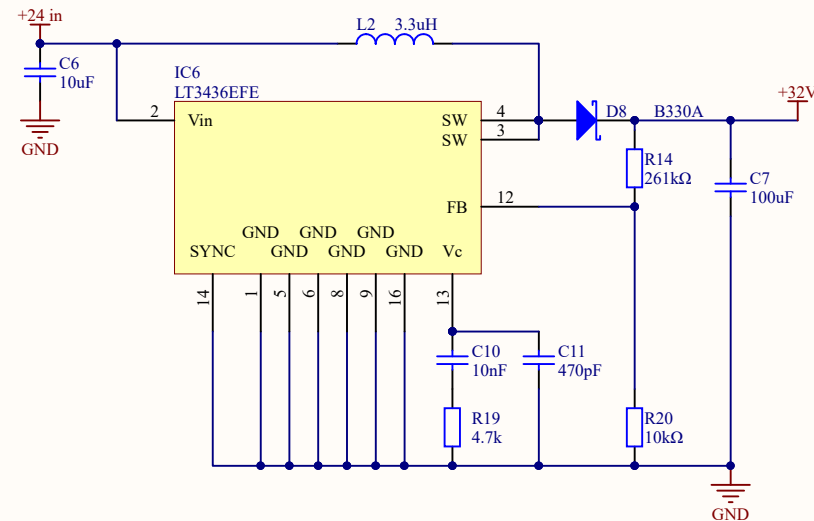
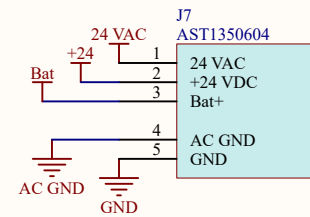
Tellija Aivar Mõttus FIE		Objekt, seade Iru Saun	
Teostas	Karl-Marten Mõttus	Nimetus: Elektrikilp	
Kontrollis	Toivo Leola		
Kinnitas			
		Leht: 1/1	Tähis: TN 17/130248 4 03 00 S



Tellija Aivar Mõttus FIE		Objekt, seade Iru Saun	
Teostas	Karl-Marten Mõttus	Nimetus: Kilbi kontrolleri	
Kontrollis	Toivo Leola		
Kinnitas			
 Eesti Maaülikool EMU Tehnikainstituut		Leht: 1/1	Tähis: TN 17/130248 4 03 01 S

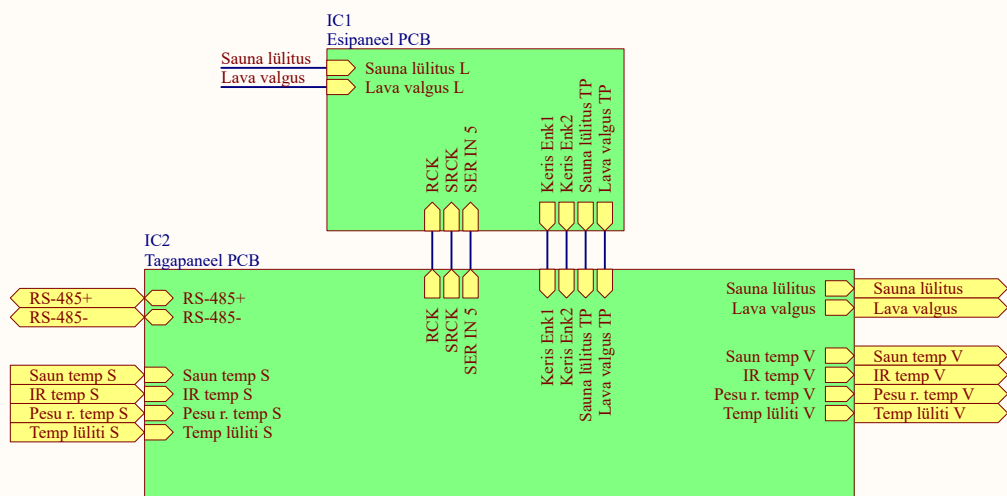
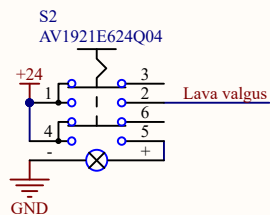
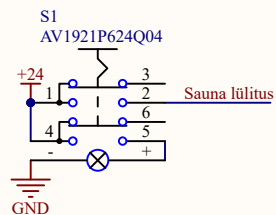



Tellija <i>Aivar Mõttus FIE</i>		Objekt, seade <i>Iru Saun</i>	
Teostas	<i>Karl-Marten Mõttus</i>	Nimetus: <i>Kilbi kontrollerr PCB</i>	
Kontrollis	<i>Toivo Leola</i>		
Kinnitas			
		Leht: <i>1/1</i>	Tähis: <i>TN 17/130248 4 03 02 S</i>

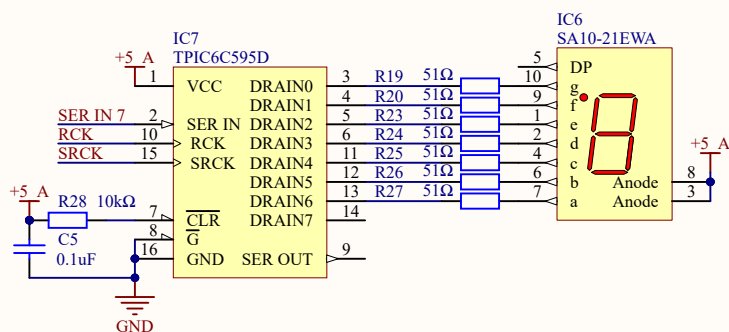
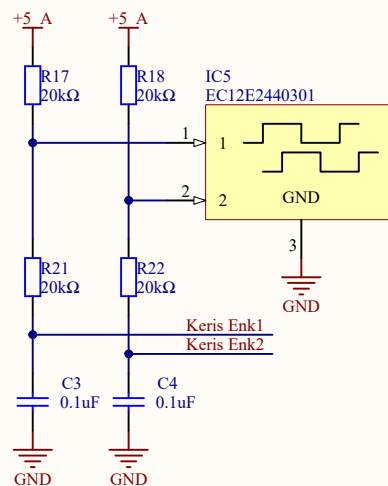
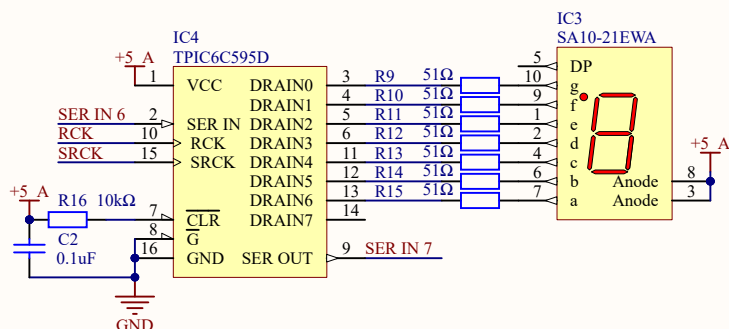
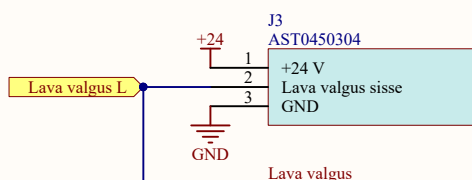
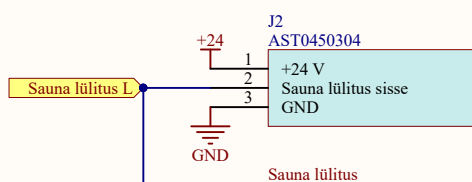
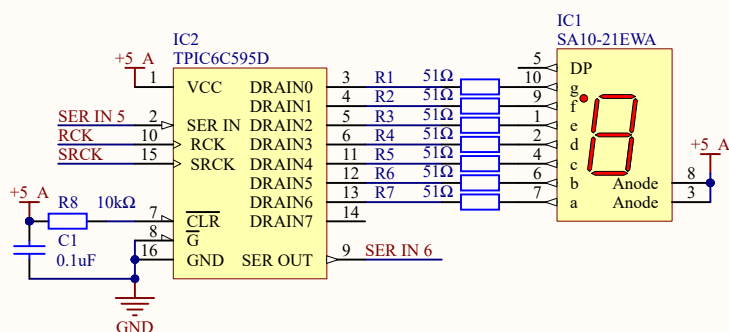
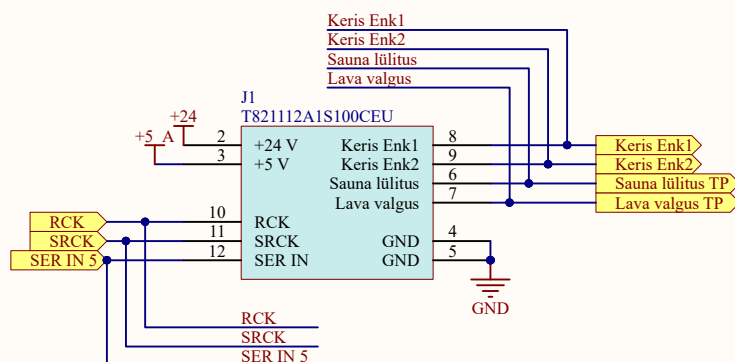


Tellija <i>Aivar Mõttus FIE</i>		Objekt, seade <i>Iru Saun</i>	
Teostas	<i>Karl-Marten Mõttus</i>	Nimetus: <i>Toiteblokk PCB</i>	
Kontrollis	<i>Toivo Leola</i>		
Kinnitas			
		Leht: <i>1/1</i>	Tähis: <i>TN 17/130248 4 03 03 S</i>

LISA 5



Tellija <i>Aivar Mõttus FIE</i>		Objekt, seade <i>Iru Saun</i>	
Teostas	<i>Karl-Marten Mõttus</i>	Nimetus: <i>Sauna pult</i>	
Kontrollis	<i>Toivo Leola</i>		
Kinnitas			
 Eesti Maaülikool EMU Tehnikainstituut		Leht: <i>1/1</i>	Tähis: <i>TN 17/130248 5 04 00 S</i>



Tellija
Aivar Mõttus FIE

Objekt, seade

Iru Saun

Teostas

Karl-Marten Mõttus

Nimetus:

Kontrollis

Toivo Leola

Esipaneel PCB

Kinnitas



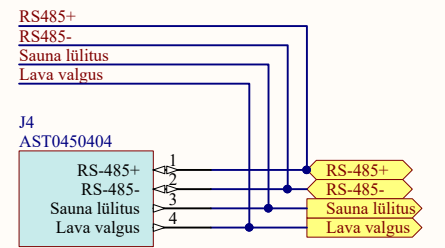
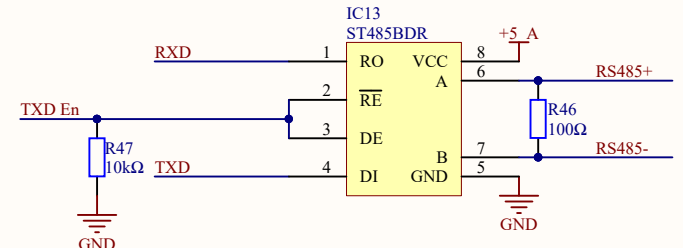
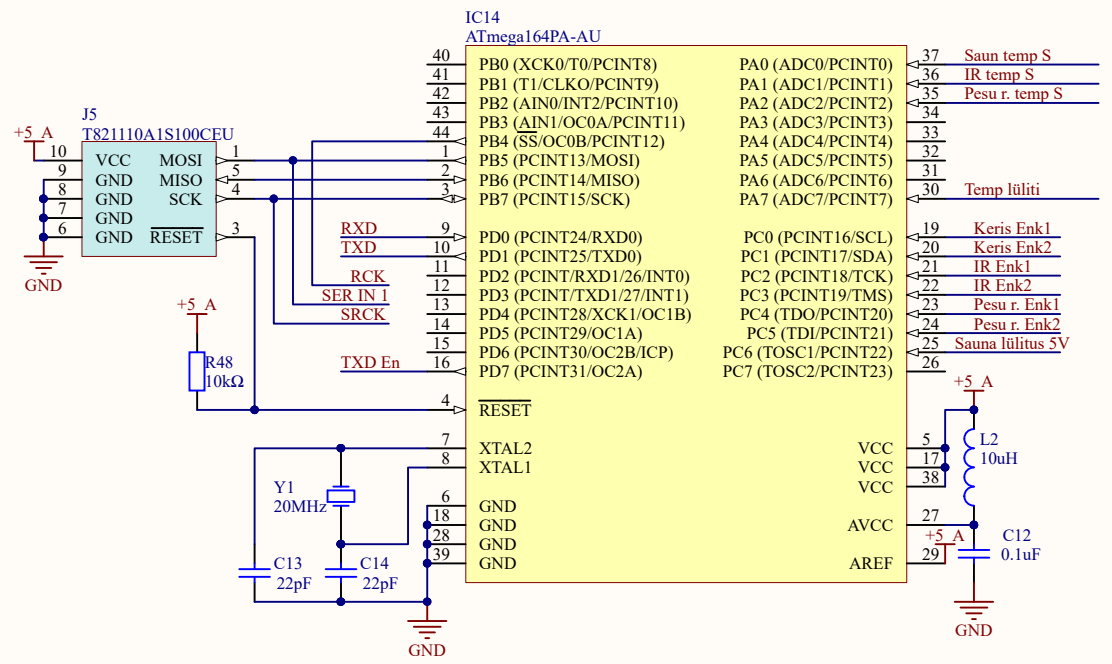
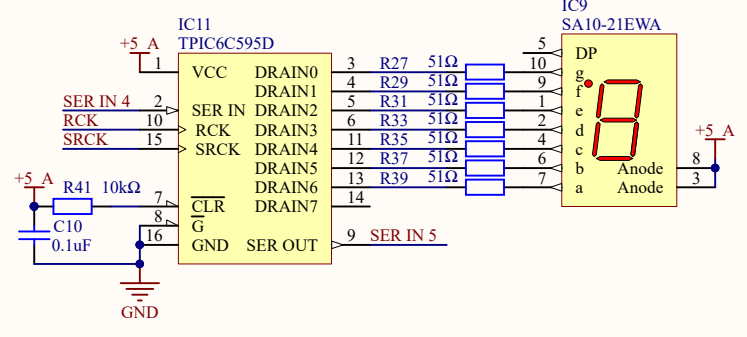
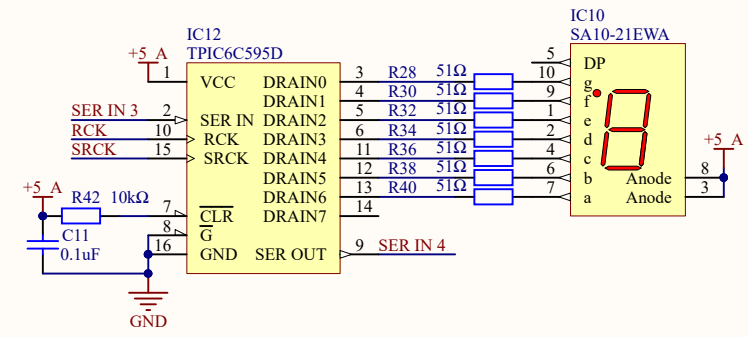
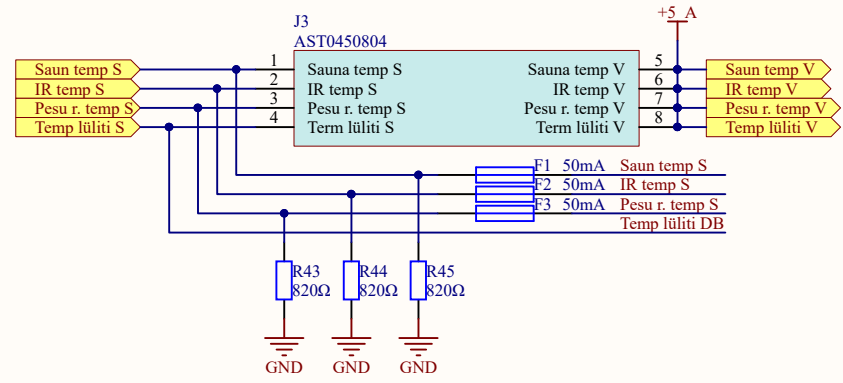
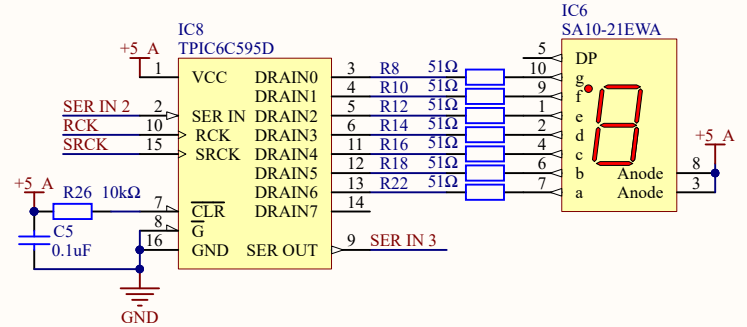
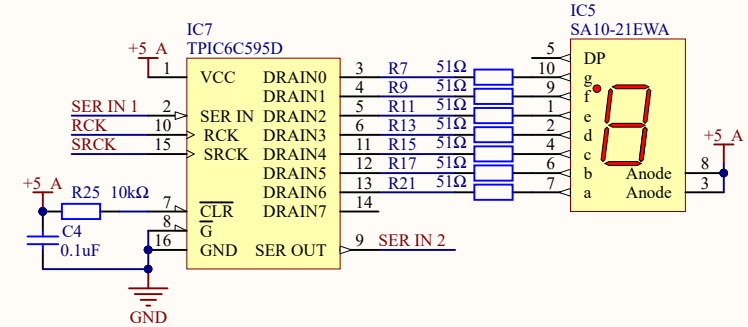
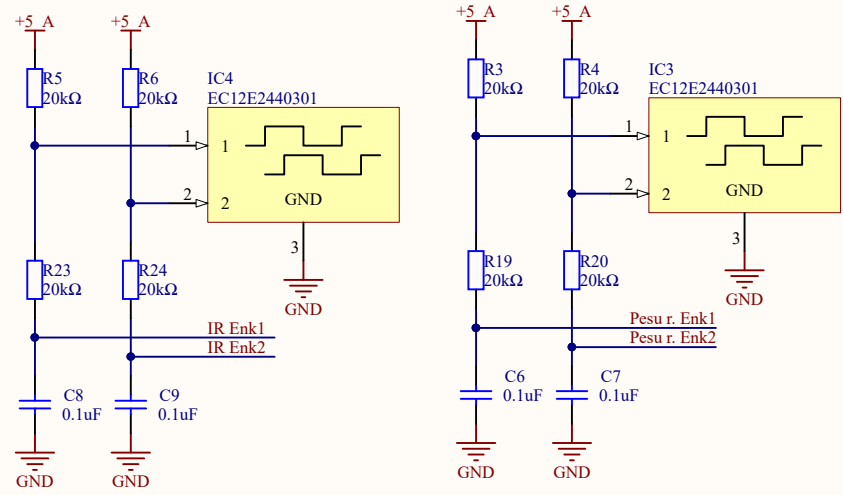
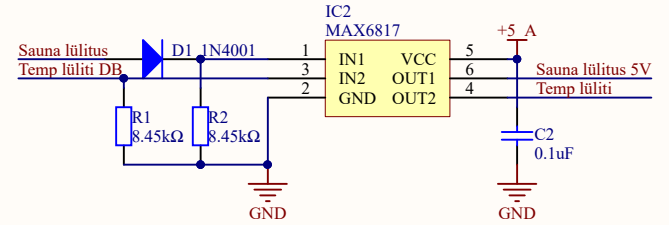
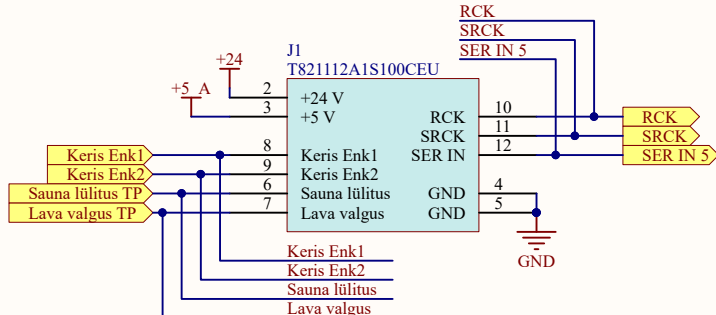
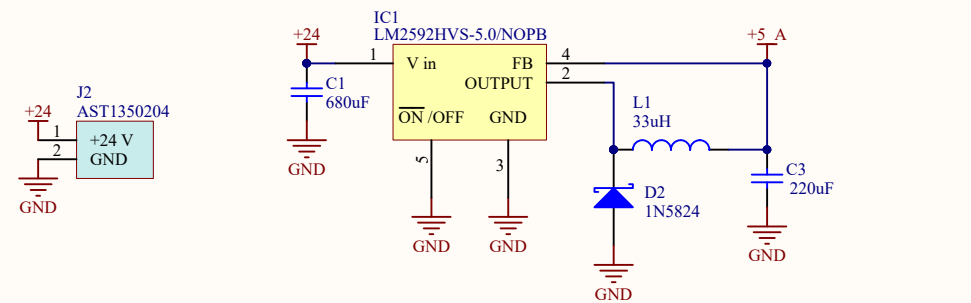
Eesti Maaülikool
Tehnikainstituut

Leht:

1/1

Tähis:

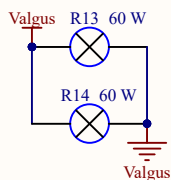
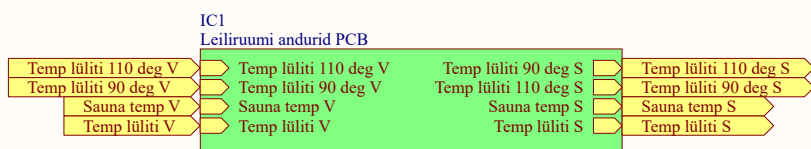
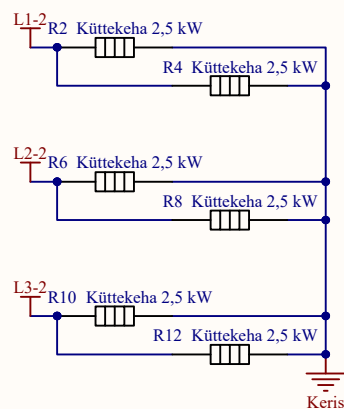
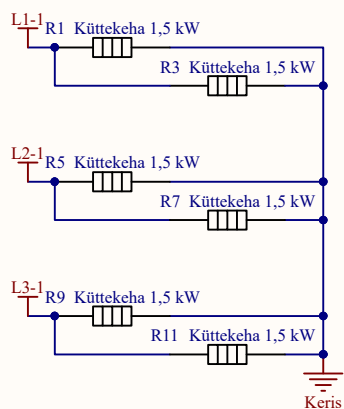
TN 17/130248 5 04 01 S



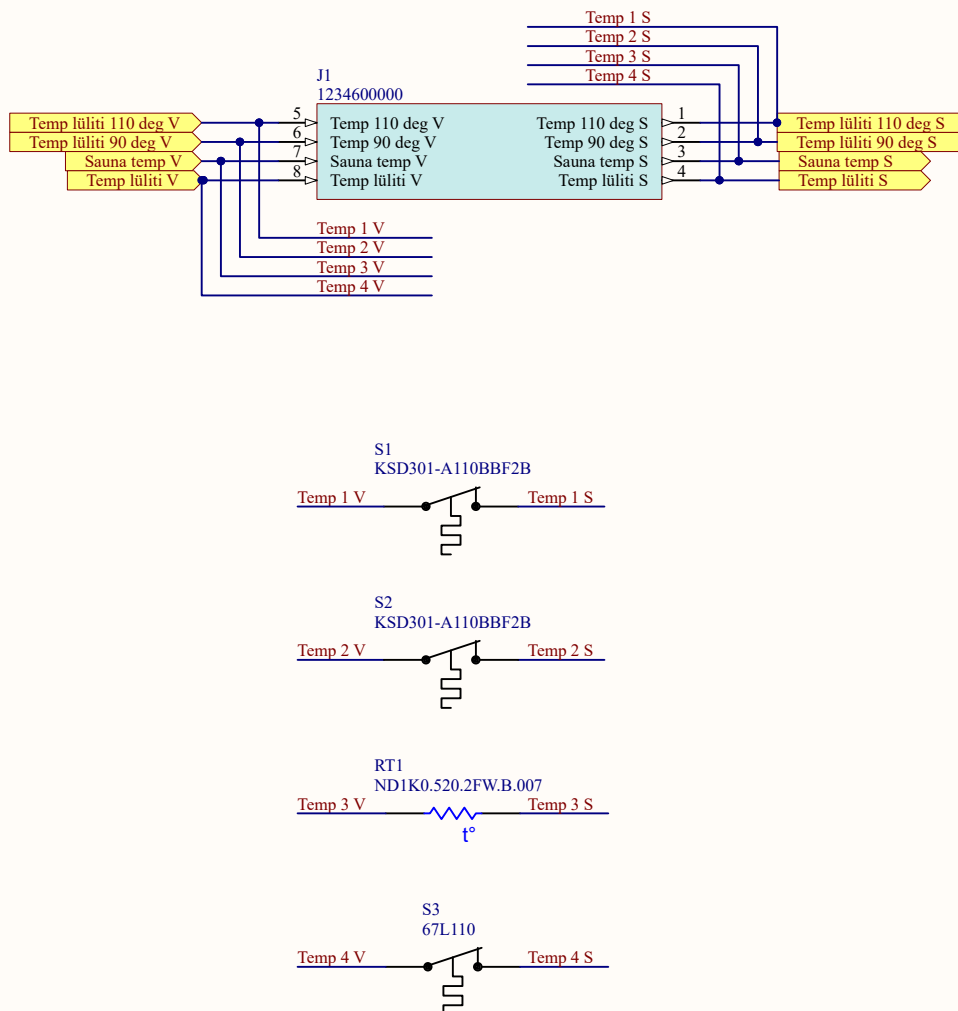
Tellija Aivar Mõttus FIE		Objekt, seade Iru Saun	
Teostas	Karl-Marten Mõttus	Nimetus: Tagapaneel PCB	
Kontrollis	Toivo Leola		
Kinnitas			
Leht: 1/1		Tähis: TN 17/130248 5 04 02 S	




LISA 6

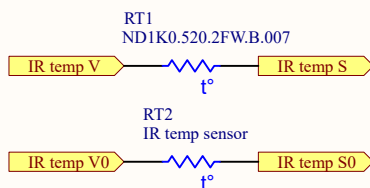
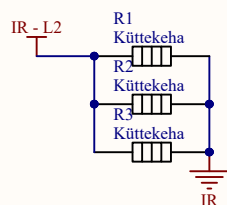


Tellija Aivar Mõttus FIE		Objekt, seade Iru Saun	
Teostas	Karl-Marten Mõttus	Nimetus: Leiliruum	
Kontrollis	Toivo Leola		
Kinnitas			
		Leht: 1/1	Tähis: TN 17/130248 6 05 00 S

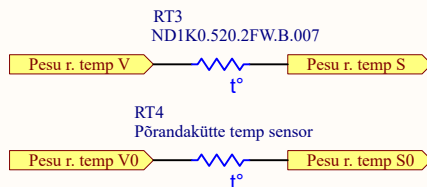
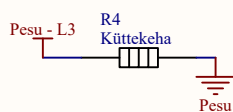


Tellija <i>Aivar Mõttus FIE</i>		Objekt, seade <i>Iru Saun</i>	
Teostas	<i>Karl-Marten Mõttus</i>	Nimetus: <i>Leiliruumi andurid PCB</i>	
Kontrollis	<i>Toivo Leola</i>		
Kinnitas			
		Leht: <i>1/1</i>	Tähis: <i>TN 17/130248 6 05 01 S</i>

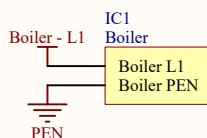
LISA 7



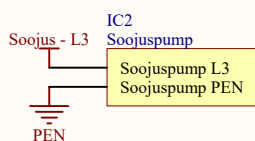
Infrapuna pörandaküte




Pesuruumi pörandaküte



Boiler



Soojuspump

Tellija Aivar Mõttus FIE		Objekt, seade Iru Saun	
Teostas	Karl-Marten Mõttus	Nimetus: Kütteseadmed	
Kontrollis	Toivo Leola		
Kinnitas			
		Leht: 1/1	Tähis: TN 17/130248 7 06 00 S